

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Imatra  
Tuotantotalous

Ollipekka Puhakka

## **Tuotannon optimointi jalostuslähtöisesti**

Opinnäytetyö 2011

## **Tiivistelmä**

Ollipekka Puhakka

Tuotannon optimointi jalostuslähtöisesti, 52 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu, Imatra

Tekniikka

Tuotantotalous

Opinnäytetyö 2011

Ohjaajat: tuntiopettaja Esko Lahdenperä, Saimaan ammattikorkeakoulu

Material Flow Manager, Lea Jaatinen, Stora Enso Oyj

Työn tavoitteena oli tutkia tämän hetkisen tuotannonsuunnittelun tilaa ja kokonaistehokkuuden optimointia kartonki- ja päällystyskoneilla. Indikaattoreina käytettiin tuotannon tunnuslukuja ja kustannuksia.

Työssä tarkasteltiin tuotannon optimointia jatkojalostuksen näkökulmasta tietyn tuotteen osalta ja tutkittiin olisiko jalostuslähtöinen lähestymistapa sovellettavissa Imatran Kaukopään kartonkikone 1:n ja päällystyskoneiden välisessä tuotantoketjussa.

Työn tulokset eivät ole absoluuttisia, koska mukana on lukuisia tekijöitä, joita ei ole pystytty ottamaan huomioon ja jotka vaikuttavat kokonaiskustannusten syntyyn. Päällystettyjen tuotteiden optimoinnissa törmätään monimutkaisiin riippuvuussuhteisiin ja lukuisiin eri ratkaisuvaihtoehtoihin.

Asiasanat: tuotannonsuunnittelu, optimointi, hyötysuhteet

## **Abstract**

Ollipekka Puhakka

Optimizing production from the converting point of view, 52 pages, 4 appendices

Saimaa University of Applied Sciences, Imatra

Technology

Industrial Engineering and Management

Bachelor's thesis 2011

Instructors: Esko Lahdenperä, Lecturer, Saimaa University of Applied Sciences and Lea Jaatinen, Material Flow Manager, Stora Enso Oyj

The objective of this thesis was to analyse the present environment of production planning and the optimizing of overall equipment effectiveness. Production statistics and costs were used as indicators.

The optimization of the production was examined from the coating machine's point of view and from one specific product only. In my thesis it was studied whether the coating machines could be set as a priority when planning the production and would it be suitable in Board machine 1 and coating machine production chain.

The results of my study are not absolute as there are multiple different factors that could not be taken into account that have an effect on overall costs. When optimizing coated products we run into complex correlations and numerous different alternative conclusions.

Keywords: production planning, optimizing, efficiency

## Sisältö

1 Johdanto .....	6
1.1 Tutkimuksen tausta.....	6
1.2 Tutkimusongelma .....	7
1.3 Rajaukset.....	7
1.4 Tutkimusmenetelmät .....	8
2 Stora Enso lyhyesti .....	8
2.1 Stora Enson Imatran tehtaait.....	10
2.2 Imatran tehtaiden kartonkikone 1.....	10
2.3 Pakkaukset – liiketoiminta-alue .....	11
3 Kartongin valmistus.....	11
3.1 Raaka-aineet .....	11
3.2 Laatu.....	12
3.3 Prosessin vaiheet .....	12
3.4 KA1-tuotteet.....	13
4 Muovipäälylysty Kaukopäässä .....	14
4.1 Päälylystyskone 2.....	14
4.2 Päälylystyskone 3.....	15
4.3 Päälylystyskone 5.....	16
5 Toiminnanohjaus.....	16
5.1 Kokonaisohjaus .....	17
5.2 Yritystoiminnan tunnusluvut ja mittarit .....	17
5.3 Kapasiteetti .....	18
5.3.1 Kapasiteettisuunnittelu.....	19
5.3.2 Materiaalisuunnittelu.....	20
5.3.3 Just-in-Time – tuotanto.....	21
6 Tuotannonohjaus ja logistiikka .....	22
6.1 Syklinen tuotannonohjaus.....	24
6.2 Materiaalivirrat ja varastot Imatran tehtailla .....	25
7 Tuotantolinjojen hyötysuhteet .....	27
7.1 Materiaalihyötysuhde.....	27
7.2 Aikahyötysuhde .....	28
7.3 Kokonaishyötysuhde.....	29
7.4 Mittaaminen ja seuranta .....	29
7.5 Hyötysuhteen vaikutus.....	30
8 Tuotannonsuunnittelu .....	31
8.1 Tuotantocykkit .....	32
8.2 PE- koneiden tuotantocykkit .....	32
8.3 Lajinvaihto .....	32
8.4 PE-koneiden lajinvaihdot .....	34
8.5 Trimmitys .....	34
8.5.1 Trimmityksen työkalut Imatran tehtailla .....	37
8.5.2 Trimmihäviö .....	37
8.6 Jalostuslähtöinen tuotannonsuunnittelu.....	38
9 Kustannusten allokointi ja määrittäminen.....	38
9.1 Lajinvaihtokustannukset .....	40
9.2 Trimmihäviökustannukset .....	42

9.3 Päälystyksestä aiheutuva kustannus koneen käyttämättömästä kapasiteetista johtuen .....	44
9.4 Päälystyksessä aiheutuvan trimmihäviön vaikutus .....	45
9.5 Case: PE- koneiden leveyshyötysuhteiden optimointi .....	46
10 Johtopäätökset.....	46
11 Pohdinta.....	47
KUVAT .....	48
KUVIOT .....	49
TAULUKOT .....	49
LÄHTEET .....	50

#### Liitteet

- Liite 1 Trimmileveyden vaikutus PE- koneiden aktiviteettihintaan
- Liite 2 Cupforma Classicin tuotantomäärät PE- koneilla 2010
- Liite 3 Kartonkikone 1:n leveysjakauma vuodelta 2010
- Liite 4 Koneiden tehokkuudet 2010

# 1 Johdanto

Ilmastonmuutokset, uusiutuvien energiamuotojen merkitys ja yhteiskunnan elinkeinorakenteen muutokset ovat pakottaneet Suomen metsäteollisuuden rakennemuutokseen, joka on heijastunut kotimaiseen metsäteollisuuteen kansainvälisillä markkinoilla. Suomessa paperin ja kartongin tuotantokapasiteetti oli suurimmillaan vuonna 2005, mutta tähän päivään mennessä siitä on hävinnyt lähes viidennes. Rakennemuutoksen myötä kilpailukykyyn vaikuttavien tekijöiden, kuten kartongin ja paperin valmistuksen tehokkuuden, tuotantopanosten kustannuksien ja kuljetuskustannusten merkitys kasvaa.

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Kartonginvalmistus on teollisuuden aloista hyvin pääomavaltainen, joten tuotantokoneistojen eliniät ovat suhteellisen pitkiä ja niihin sitoutunut pääoma on suuri. Tärkeimmäksi kannattavuuden osatekijäksi muodostuu tällöin pääoman tehokas käyttö, mikä tarkoittaa mahdollisimman korkeaa kapasiteetin käyttöastetta.

Tuotanto-, laatu- ja toimitusaikavaatimusten noustessa tehdaskohtaiset ja sitä kautta yksittäisten tuotantolaitteistojen optimaaliset toiminnot korostuvat. Kartongin valmistuksessa tuotteet valmistetaan usein monien eri konevaiheiden aikana, jolloin jokaisen koneen optimaalinen toiminta on tärkeää asiakasvaatimusten saavuttamiseksi.

Imatran tehtaiden kartonkikone 1:n asiakaskunta on laaja, ja tilausten keskimääräinen koko on suhteellisen pieni. Lisäksi tilausten leveydet sekä muut parametrit vaihtelevat laajalti, joten tuotannonsuunnittelun merkitys korostuu. Suuri osa tilauksista menee jatkojalostettavaksi päällystys- ja/tai arkkikoneille, minkä vuoksi tilaukset täytyy suunnitella usealle eri koneelle. Tilauskokojen pienentyessä ja tilausmäärien kasvaessa ajot lyhenevät ja lajinvaihdot lisääntyvät. Syklisessä tuotannonsuunnittelussa lyhyillä tuotantosykleillä voidaan vaikuttaa positiivisesti toimitusaikoihin, mutta lajinvaihtojen myötä myös hyllyn määrä kasvaa, ja lajinvaihtoseisakkien vuoksi menetetään arvokasta ajoaikaa. Tilausten asette-

lulla eli trimmityksellä voidaan vaikuttaa pitkälti tuotantokapasiteetin maksimaaliseen hyödyntämiseen sekä kannattavuuteen tuotantokoneilla.

Stora Enson Imatran tehtailla on historiansa aikana tutkittu tuotannon optimointia monesta eri näkökulmasta. Tuotannon optimoinnin tarkasteleminen on aina ajankohtaista jatkuvasti muuttuvassa ja kehittyvässä toimintaympäristössä. Opinnäytetyöni aihe muodostui tuotannossa havaittujen ongelmien pohjalta.

## **1.2 Tutkimusongelma**

Tuotannon ulottuessa kartonkikoneelta päällystyskoneille voi ongelmaksi muodostua koneiden ensisijainen optimointi. Lähtökohtaisesti on ajateltu, että kartonkikone tulisi trimmittää optimaalisesti kartonkikoneen sallimissa rajoissa, mutta joissakin tapauksissa tämä ajattelutapa on ollut ristiriidassa todellisia tilauskohtaisia kannattavuuksia tarkasteltaessa.

Työni tavoitteena on tarkastella, onko perusteltua muuttaa nykyistä tuotannonsuunnittelua jalostulähtöiseksi eli optimoida ensisijaisesti jalostuskoneita kartonkikoneiden sijaan. Tavoitteena on myös pohtia toisiko jalostuslähtöinen tuotannonsuunnittelu mahdollisesti taloudellisia etuja.

## **1.3 Rajaukset**

Imatran tehtaas käsittävät useita eri kartonki- ja jatkojalostuskoneita, jotka mahdollistavat useita eri tuotannollisia vaihtoehtoja lopputuotteiden valmistuksessa. Laajan kokonaisuuden vuoksi opinnäytetyöni rajataan vain yhteen kartonkikoneeseen ja Kaukopään päällystyskoneisiin, jotta työ säilyttäisi sen vaatimat mitasuhteet. Tuotteiden ja lajien määrän vuoksi työssäni keskitytään vain yhteen kartonkikone 1:n tuotteeseen, koska tämä tuote on volyymiltään suurin, ja sen takia sen vaikutukset tuotannon optimoinnissa ovat merkittävimmät.

Tuotannonsuunnittelun näkökulmasta tuotannon ongelmakohdat ovat tuotteista riippumatta lähes samat, joten työni tuloksia ja johtopäätöksiä voidaan soveltaa tuotekohtaisesti.

## **1.4 Tutkimusmenetelmät**

Opinnäytetyössäni käsiteltävä teoria perustuu kirjallisuuteen. Tutkimuksessani hyödynnetään haastatteluja, keskusteluja ja referenssejä kohdeyrityksessä sekä yrityksen raportoinnista saatua dataa. Haastattelut ja keskustelut käydään myynnin ja tuotannon henkilöiden kanssa, jotka työssään käsittelevät asiakastilauksia päivittäin.

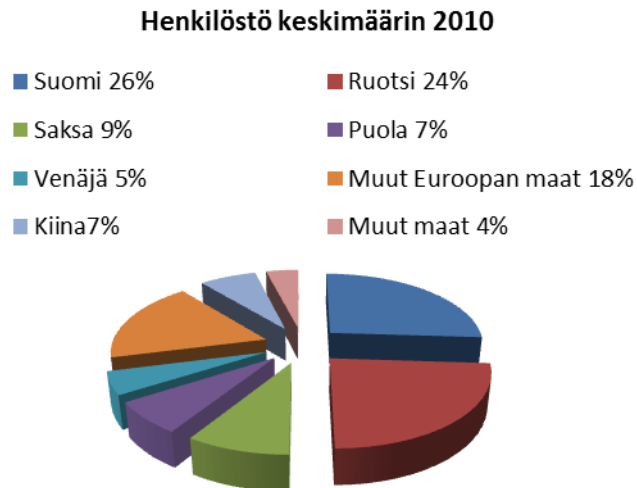
Tilastot ja raportit on kerätty Imatran tehtaiden tehdastietojärjestelmästä sekä myynnin käyttämästä Fenix- järjestelmästä. Laskelmissani olen käyttänyt yrityksen tietojärjestelmistä saatua dataa ja saanut apua myös laskentaosastolta.

## **2 Stora Enso lyhyesti**

Stora Enso on globaali paperi-, pakkaus- ja puutuotealan yhtiö, jolla on 88 tehdasta ja tuotantolaitosta yli 35 eri maassa. Vuonna 2010 konsernin liikevaihto oli 10,3 miljardia euroa ja se työllisti noin 27 000 henkilöä (Kuva 1). Yhtiön vuosittainen tuotantokapasiteetti on noin 11,8 miljoonaa tonnia paperia ja kartonkia, 1,3 miljardia neliometriä aaltopahvia ja 6,4 miljoonaa kuutiometriä puutuotteita, joista puolet on jatkojalosteita. Näistä valmistetaan pääasiassa sanomalehti- ja kirjapaperia, aikakauslehti- ja hienopaperia, kuluttajapakkauskartonkia, teollisuuspakkauksia sekä puutuotteita. (Stora Enso tilinpäätös 2010.)

Suurin osa Stora Enson tuotantokapasiteetista (Kuva 2) on Suomessa sekä Länsi- ja Itä-Euroopassa, mutta jatkuvasti kasvavat markkinat ja kustannustehokkuus ovat vieneet yrityksen toimintaa yhä enenevässä määrin kohti Etelä-Amerikkaa ja Kiinaa, jossa on maailman nopeimmin kasvavat markkinat. Stora Enson liiketoiminta on jaettu neljään liiketoiminta-alueeseen: painopaperi, hienopaperi, pakkaukset ja puutuotteet. (Stora Enso tilinpäätös 2010.)





Kuva 1. Stora Enso henkilöstömäärä maittain 2010 (Stora Enso tilinpäätös 2010)



Kuva 2. Stora Enso tuotantokapasiteetti maittain 2011 (Stora Enso tilinpäätös 2010)

Stora Enson tulevaisuuden tavoitteena on kilpailu- ja kustannusedun parantaminen ottamalla huomioon yritys-, ympäristö- ja yhteiskuntavastuu. Kilpailuedun saavuttamiseksi Stora Enso kehittää osaamistaan uusiutuvien materiaalien käyttäjänä ja edelläkävijänä sekä tarjoaa asiakkailleen ympäristöystävällisiä ratkaisuja vaihtoehtoina uusiutumattomille materiaaleille. (Stora Enso tilinpäätös 2010.)

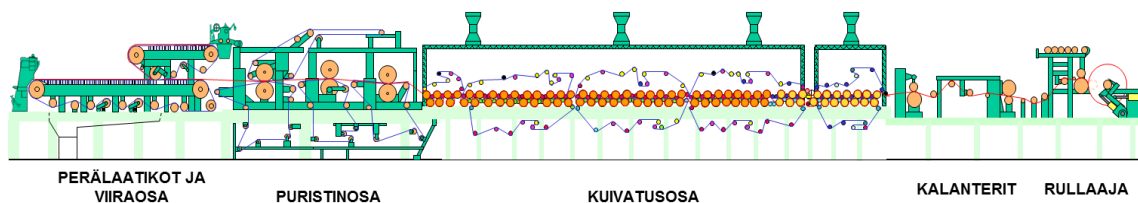
## 2.1 Stora Enson Imatran tehtaat

Stora Enson Imatran tehtaisiin kuuluvat Kaukopään ja Tainionkosken tehdasyksiköt, jotka yhdessä työllistävät noin 1000 henkilöä. Organisatorisesti myös Karhulan tehdas kuuluu Imatran tehtaisiin, mutta toiminnan on tarkoitus lähitulevaisuudessa siirtyä kokonaan sieltä Imatralle. Imatran tehtaiden vuosittainen paperi- ja kartonkikapasiteetti on yli miljoona tonnia, josta yli 90 % menee vientiin, pääasiassa Eurooppaan. Kaakkois-Aasian markkinaosuus on myös merkittävä. (Stora Enso – esittely: Imatran tehtaات 2011.)

Imatran tehtailla valmistetaan nestepakkaus- ja elintarvikekartonkeja, pakkauskartonkeja ja –papereita sekä graafisia kartonkeja. Raaka-aineina käytetään koivua, mäntyä ja kuusta sekä ostohaketta. Kaukopään tuotantoyksikössä toimii kolme kartonkikonetta, kolme päällystyskonetta (PE2, PE3, PE5), yksi paperikone, kaksi jälkirullainta ja arkitus. Tainionkosken tehtailla toimii yksi kartonkikone ja Karhulassa tällä hetkellä yksi päällystyskone (PE4). (Stora Enso – esittely: Imatran tehtaات 2011.)

## 2.2 Imatran tehtaiden kartonkikone 1

Kartonkikone 1 (KA1) on Beloitin valmistama kone (Kuva 3), jolla on aloitettu kartongin tuotanto Imatran Kaukopäässä vuonna 1950. Vuosien varrella konetta on uusittu laadun ja tuotantokapasiteetin nostamiseksi.



Kuva 3. Kartonkikone 1:n sivukuva (Stora Enson intranet 2011)

Kartonkikone 1:n nykyinen tuotantokapasiteetti on 170 000 tonnia vuodessa maksimirataleveyden ollessa 4400mm. Valmistettavien kartonkien neliömassat vaihtelevat välillä 170 – 420 g/m<sup>2</sup> ja maksimijonopeus neliömassan mukaan on 150 – 430 m/min. (Stora Enso intranet 2011.)

### **2.3 Pakkaukset – liiketoiminta-alue**

Stora Enson ”Pakkaukset – liiketoiminta-alue” valmistaa kuitupohjaisia pakkausmateriaaleja ja innovatiivisia pakkausratkaisuja teollisuustuotteita sekä kuluttajatuotteita varten. Yritys toimii pakkaustuotannon arvoketjun kaikissa vaiheissa aina sellun tuotannosta kartongin ja pakkausten valmistukseen ja kierrätykseen. (Stora Enso tilinpäätös 2010.)

Stora Enson kuluttajapakkauskartonkiyksikön laaja tuotevalikoima kattaa kaikki keskeiset kartonkilaadut ja loppukäyttökohteet. Näitä ovat nestepakkauskartongit, elintarvikekartongit, graafiset kartongit ja taivekartongit, joita käytetään elintarvikkeiden, savukkeiden, lääkkeiden sekä kosmetiikan ja muiden ylellisyystuotteiden pakkaamiseen. (Stora Enso tilinpäätös 2010.)

Yrityksen teollisuuspakkaustuotteita ovat aaltopahvipakkaukset, aaltopahvin raaka-aine, hylsy ja hylsykartonki, paperisäkit sekä säkki- ja voimapaperi (Stora Enso tilinpäätös 2010).

## **3 Kartongin valmistus**

Kartongin valmistus on prosessi, joka vaatii oikeanlaiset raaka-aineet, tuotantolaitteet ja työpanoksen. Prosessin onnistuminen tuotannollisesti ja laadullisesti vaatii jokaisen osatekijän hallintaa (Stora Enso intranet 2011).

Kartonginvalmistuksen pääpiirteitä ovat uusiutuvien luonnonvarojen käyttö, valmistettavien tuotteiden korkea kierrätettävyyys ja kehittyneen teknologian mahdollistama tehtaiden ja yksikköjen omavaraisuus. Kartonginvalmistuksen haasteina ovat positiivisen julkikuvan säilyttäminen metsien käyttäjänä sekä nousevat raaka-ainekustannukset. (Diesen 2007.)

### **3.1 Raaka-aineet**

Kartonkia valmistetaan puukuitujen ja veden sisältämästä massasta joko kemiallisesti keittämällä tai kuiduttamalla. Kartongin raaka-ainekoostumus riippuu siitä, minkälaiseen loppukäyttöön kartonkia valmistetaan. Jokainen kartonkilaji vaatii omanlaisensa kuitukoostumuksen, täyteaineen, liimauksen ja lisäaineensa, jotta saadaan lopputuotteelle halutut ominaisuudet. Yksi kartongin valmis-

tuksen haasteista on eri ominaisuuksien saavuttaminen optimaalisesti. Tällöin joudutaan usein tekemään kompromissiratkaisuja, koska monet samanaikaisesti halutut ominaisuudet ovat keskenään ristiriitaisia tuotannon kannalta. Esimerkiksi havupuusellusta saadaan hyvät lujuusominaisuudet, kun taas lehtipuusellua käyttämällä voidaan parantaa painettavuusominaisuuksia. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 14 - 15.)

Kierrätyskuidun käyttö kartongin valmistuksessa tarkoittaa jo kertaalleen käytetyn tuotteen uudelleen käyttämistä. Painettu, kierrätetty kartonki joudutaan siirtämään eli poistamaan painoväri kartongista pois ja mahdollisesti valkaisemaan ennen uudelleenkäyttöä. Keräyskartongin käyttöön vaikuttavat sen saataavuus ja taloudellisuus sekä joissakin maissa myös lainsäädäntö. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 14 - 15.)

Yritysvastuun korostuminen, kestävä kehitys ja taloudellisuus ovat lisänneet kierrätyskuidun käytön merkitystä paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Kierrätyskuiduista valmistettavan uusiomassan osuus kasvaa edelleen, ja tekniikan kehityksen ansiosta uusiomassasta saadaan entistä puhtaampaa ja käyttökelpoisempaa raaka-ainetta kartonginvalmistuksessa. (Diesen 2007.)

### **3.2 Laatu**

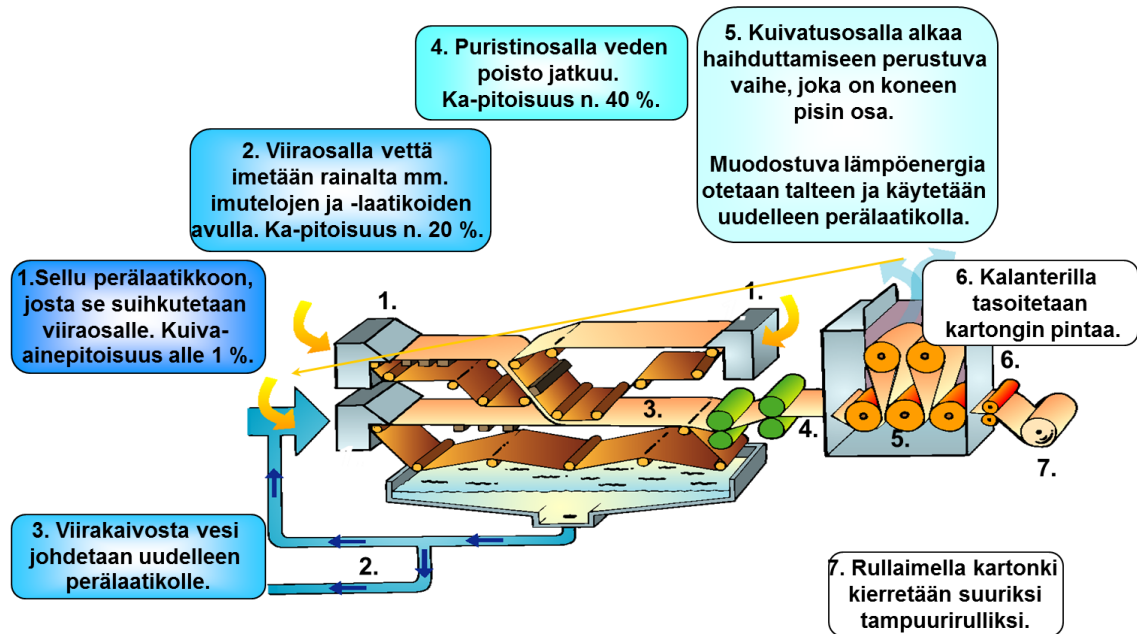
Tehokkuuden ja parhaimman mahdollisimman laadun saamiseksi yhteistyö- ja kehitystoimenpiteet toimittajien ja sidosryhmien välillä ovat ratkaisevia. Koko raaka-ainehankintaprosessin aikana on myös minimoitava ympäristövaikutukset.

Materiaalien laatutaso varmistetaan spesifikaatioilla ja tarkistetaan, että materiaalit täyttävät tarvittavat turvallisuus- ja tuoteturvallisuusvaatimukset. Laatutasoa tarkkaillaan niin tuotannon aikana kuin lopputuotteissakin. (Stora Enso intranet 2011.)

### **3.3 Prosessin vaiheet**

Kartonkikoneen pääosat (Kuva 4) ovat perälaatikko, viiraosa, puristinosa, kuivatusosa sekä kalanterit. Kartonkikoneen alkupäätä kutsutaan märkápääksi, jossa raina muodostetaan perälaatikolta viiraosalle ja siitä edelleen puristinosalalle. Pe-

rälaatikolta suihkutetun massan kuiva-ainepitoisuus on 1 % ja loput 99 % on vettä. Viiraosalla vettä imetään rainalta imutelojen ja -laatikoiden avulla ja kuiva-ainepitoisuus kasvaa 20 prosenttiin. Puristinosalla vettä puristetaan telojen avulla kuiva-ainepitoisuuden noustessa noin 40 %:iin. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 15 - 17; Stora Enso intranet 2011.)



Kuva 4. Kartonginvalmistuksen vaiheet (Stora Enso intranet 2011)

Puristinosan jälkeen raina johdetaan kuivatusosalle, jossa rainasta haihdutetaan vesi höyryllä lämmitettävien kuivaussylinterien avulla. Kuivatusosa on niin sanotun huuvin sisällä, jossa muodostuva lämpöenergia otetaan talteen ja käytetään uudelleen perälaatikolla. Kun kartonkiraina on kuivatettu, sen pinta kiillotetaan kalanterilla ja rullataan tampuurirulliksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 15 - 17; Stora Enso intranet 2011.)

### 3.4 KA1-tuotteet

Kartonkikone 1:n tuotannosta noin 90 prosenttia on kuppikartonkia. Näistä suurimpana on Cupforma Classic ja uutena tuotteena Cupforma Natura, joka on tullut markkinoille vuoden 2010 aikana. Cupforma Natura tulee korvaamaan Classicin neliögrammapainot väliltä  $210\text{g/m}^2$  –  $280\text{g/m}^2$  syksyn 2011 aikana. Loput tuotannosta koostuu pienemmistä määristä nestepakkauskartonkeja ja kartongeista, joita käytetään uunivuokiin ja valmispakasteisiin. KA1:n tuotteiden

pääraaka-aineena käytetään valkaistua koivusellua ja usein lisänä kemitermomekaanista massaa eli CTMP:tä. Liimauksessa käytetään hartsi- tai neutraali-liimausta. (Stora Enso intranet 2011.)

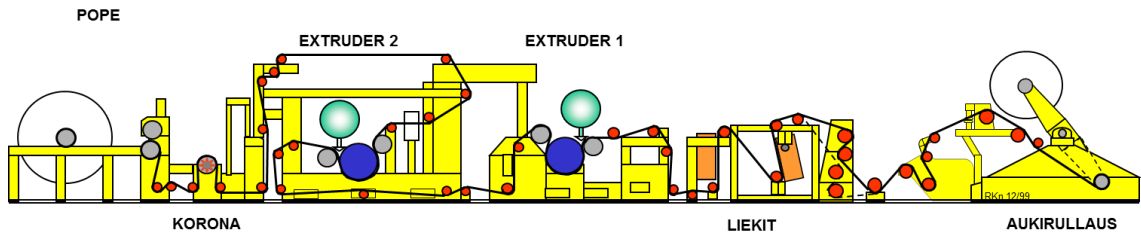
Suurin osa KA1:n myytävistä tuotteista on jatkojalostukseen menevää päällystettävää kartonkia, jossa kartonki päällystetään joko yksi- tai kaksipuoleisena. Yksipuoleiset (1PE) kuppikartongit menevät loppukäyttöön kuumajuomakuppeina ja vastaavasti kaksipuoleiset (2PE) kylmäjuomakuppeina. Päällysteenä kuppikartongeilla käytetään PE:tä eli polyteenipäällystettä, joka päällystetään muovipäällystyskoneilla PE2, PE3 ja PE5. (Stora Enso intranet 2011; Stora Enson tehdastietojärjestelmä 2011.)

## **4 Muovipäällystys Kaukopäässä**

Päällystämällä tarkoitetaan kartongin pinnoittamista erilaisilla aineilla, kuten pigmenteillä, sideaineilla, vahoilla ja muoveilla sekä näiden yhdistelmillä. Pigmenttipäällysteillä peitetään paperin ja kartongin epätasaisuudet yhdellä tai useammalla päällystyskerroksella. Pigmenttipäällystyksellä vaikutetaan ensisijaisesti ulkonäköön ja painettavuusominaisuuksiin, mikä ilmenee esimerkiksi vaaleuden lisääntymisenä, kiiltona, ja vähentää samalla painovärin tarvetta. Muovipäällystyksellä voidaan vaikuttaa paperin ja kartongin jäykkyyteen sekä nesteiden ja rasvan kestoon. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 184 - 185).

### **4.1 Päällystyskone 2**

Vuonna 1967 tuotannon aloittanut Päällystyskone 2 (PE2) päällystää pääasiassa yksi- ja kaksipuoleisia nestepakkaus- ja elintarvikekartonkeja. Vuosittainen päällystyskapasiteetti PE2:lla on 90 000 tonnia ja maksimituotantonopeus 350m/min. Rataleveys vaihtelee 1700 – 2247 mm:n välillä ja maksimirullanhal- kaisija aukirullauksessa on 1600 mm ja kiinnirullauksessa 2650 mm. Päällystet- tävän raakakartongin neliömassa vaihtelee 170 - 420 g/ m<sup>2</sup>. Päällystyskone 2:n sivukuva on esitetty kuvassa 5. (Stora Enso intranet 2011.)

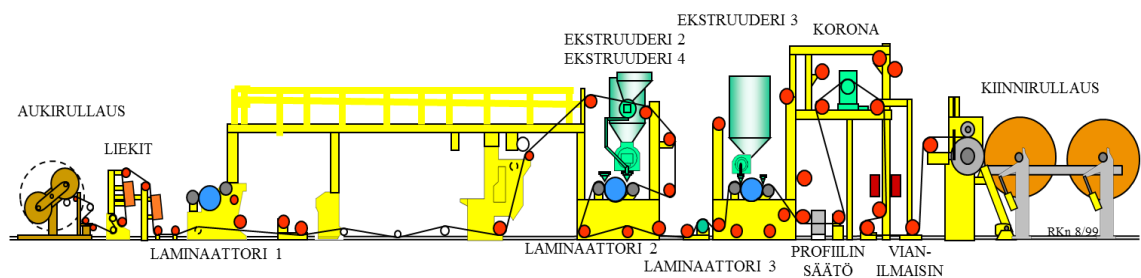


Kuva 5. Päälystyskone 2 (PE2) sivukuva (Stora Enso intranet 2011)

Vuonna 2010 PE2:n suurimpia päälystettäviä tuotteita oli yksi- ja kaksipuoleinen kuppikartonki Cupforma Classic. Sen osuus oli yli 50 % kaikista päälystettävistä tuotteista (Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011; Luukkonen 2011).

#### 4.2 Päälystyskone 3

Päälystyskone 3:n (PE3) tuotanto alkoi vuonna 1971. PE3:n vuotuinen päälystyskapasiteetti on 90 000 tonnia ja maksimijonopeus 400 m/min. Rataleveys vaihtelee välillä 1500 – 2300 mm. Maksimirullanhalkaisija aukirullauksessa on 1800 mm ja kiinnirullauksessa 3200 mm. PE3:lla päälystettävän raakakartongin neliömassa vaihtelee välillä 170 – 420 g/m<sup>2</sup>, ja kone päälystää 1- ja 2-puoleisia nestepakkaus- ja elintarvikekartonkeja sekä pienempiä määriä muun muassa graafisia kartonkeja. Päälystyskone 3:n sivukuva on esitetty kuvassa 6. (Stora Enso intranet 2011.)



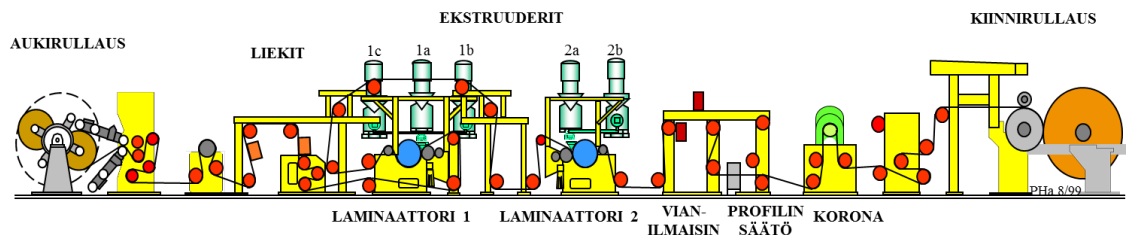
Kuva 6. Päälystyskone 3 (PE3) sivukuva (Stora Enso Intranet 2011)

PE3:n suurin päälystettävä tuote on KA1:n yksipuoleisesti päälystetty kuppikartonki Cupforma Classic, jonka osuus tuotannosta vuonna 2010 oli noin 50 prosenttia (Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011).

### 4.3 Päälystyskone 5

Päälystyskone 5:n (PE5) tuotanto käynnistyi vuonna 1996. PE5:n vuotuinen päälystyskapasiteetti on 120 000 tonnia maksimituotantonopeuden ollessa 500 m/min. Rataleveys vaihtelee välillä 1700–2850 mm ja maksimi rullanhalkaisija aukirullauksessa on 1800 mm ja kiinnirullauksessa 3200 mm.

PE5:lla päälystettävän raakakartongin neliömassa vaihtelee välillä 170 – 420 g/m<sup>2</sup>. Päälystyskone 5:n sivukuva on esitetty kuvassa 7.



Kuva 7. Päälystyskone 5 (PE5) sivukuva (Stora Enson intranet 2011)

PE5 päälystää pääasiassa yksi- ja kaksipuoleisia nestepakkaus- ja elintarvikekartonkeja. (Stora Enso intranet 2011.)

## 5 Toiminnanohjaus

Toiminnanohjauksen tarkoituksena on suunnitella ja hallita yritysten tilaustoimitusketjun eri toimintoja. Yleisesti toiminnanohjaus on rinnastettu tuotannonohjaukseen, mutta yritysten toiminnan hallinta edellyttää paljon muitakin toimintoja ja tehtäviä kuin ainoastaan tuotantoon liittyviä. Myynti, jakelu, tuotesuunnittelu sekä investointien ja materiaalien hallinta yhdessä valmistusprosessien kanssa muodostaa yrityksen monimuotoisen kokonaisuuden. Puhuttaessa tuotteiden valmistuksen suunnittelusta ja ohjauksesta käytetään käsitettä valmistuksen- tai tuotannonohjaus. (Haverila ym. 2009, 397.)

Yrityksen toiminnanohjaus sisältää päätöksenteon, suunnittelun, toimeenpanon ja valvonnan. Toiminnanohjauksen tavoitteet perustuvat tuotannon yleisiin tavoitteisiin, kuten kustannusten minimoimiseen, hyvään aikakilpailukykyyn, laatuun ja joustavuuteen. Toiminnanohjaus voidaan myös määritellä yrityksen toiminnan säätelyksi suunnittelemalla ja valvomalla kohti asetettuja tavoitteita. (Paldanius 2004, 2; Haverila ym. 2009, 397.)



Tuotannollisten tavoitteiden toteutumisen kriteerinä on toimiva toiminnanohjaus, joka organisoii ja ohjaa kaikkia yrityksen toimintoja näiden tavoitteiden saavuttamiseksi. Lukuisia suunnittelu-, valmistus- ja materiaalinkäsittelytehtäviä tapahtuu yrityksessä päivittäin, ja näiden hallinta edellyttää yhteisiä toimintaperiaatteita ja pelisääntöjä. (Haverila ym. 2009, 397.)

## **5.1 Kokonaisohjaus**

Yrityksen strategiset ja liiketaloudelliset tavoitteet määrittelevät yrityksen liiketoiminnan johtamisen. Yhdessä yrityksen keskeisien toimintojen, resurssien ja liiketoiminnan tavoitteiden pohjalta muodostuu yrityksen kokonaisohjaus. Budjetit sekä tavoitteenasettelussa käytetyt tunnusluvut ja mittarit ovat kokonaisohjauksen keskeisimmät työvälineet. (Haverila ym. 2009, 397 - 398.)

Toimintojen koordinoimiseen ja taloudellisten tavoitteiden asettamiseen yritys käyttää budjetteja. Taloudelliset, euromääräiset tavoitteet voidaan muuttaa myös toiminnallisiksi kappalemääriksi. Tuotteiden ja materiaalien varastotasot sekä valmistusmäärät suunnitellaan budjettien perusteella. Kapasiteetti ja materiaaltarpeet määritellään valmistusbudjetin perusteella, josta voidaan laskea kuormitusryhmäkohtaiset kapasiteettitarpeet. (Haverila ym. 2009, 397 - 398.)

Yksityiskohtaisten suunnitelmien ja päätösten tekemiseen budjettipohjainen suunnittelu on useimmiten liian epätarkka, mutta auttaa tuotannon ja resurssien karkeasuunnittelua. Budjettisuunnittelun avulla voidaan kartoittaa tuotannon kustannusrakennetta ja investointeja liiketaloudellisesta näkökulmasta ja tehdä päätöksiä esimerkiksi kapasiteetin lisäämisen suhteen. (Haverila ym. 2009, 397 - 398.)

## **5.2 Yritystoiminnan tunnusluvut ja mittarit**

Yrityksen toimintojen seurannan ja tavoitteiden asettelun välineenä tunnusluvut ovat konkreettinen mittari yrityksen toiminnanohjauksen onnistumisesta. Toiminnan tehokkuuden mittaamisessa voidaan hyödyntää käyttö- ja myyntikatetta sekä jalostusarvoa, mutta toiminnan johtaminen vaatii lisäksi resurssien käyttöä ja toiminnan tuloksia kuvaavia lukuja. Tuotannon keskeisien toimintojen analysointi ja mittaaminen tunnuslukujen avulla on ensiarvoisen tärkeää, jotta yrityk-

sen johto pystyy ohjaamaan toimintoja oikeaan suuntaan. (Haverila ym. 2009, 398.)

Prosessiteollisuudessa tuotannon tunnuslukuja ovat muun muassa kustannustehokkuus, tuottavuus, laatu sekä toimitusvarmuus. Korrektien ja vertailukelpoisten tietojen saaminen tuotantoprosesseista on haasteellista, ja siksi tunnuslukujen käyttö vaihtelee alojen ja yritysten mukaan. (Haverila ym. 2009, 398.)

### 5.3 Kapasiteetti

Tuotantoyksikön enimmäissuorituskyvyn mittaamiseen aikayksikössä käytetään mittarina kapasiteettia. Kartonkitehtaissa käytetään yleisesti kapasiteettiyrksikönä tonnia/tunti tai tonnia/päivä. Kapasiteetti voidaan ilmaista käyttäen myös aikayksikköä tuntia/viikko mikäli eri tuotteet vaativat erisuuruisen määrän kapasiteettia. (Haverila ym. 2009, 399.)

Kapasiteettia ja kuormitusta tarkasteltaessa yhtenä kokonaisuutena puhutaan kuormitusryhmästä. Tehdastasolla tämä tarkoittaa sitä, että kokonaiskapasiteettia voidaan seurata kokonaistuotantomäärää tai kokonaistyötuntimäärää käyttäen. Karkeasuunnittelussa kuormitusryhmät ovat laajoja, kuten tuotantolinjoja tai pullonkaulakoneita, kun taas hienosuunnitteluun siirryttäessä käytetään solu- tai koneryhmäkohtaisia kuormitusryhmiä. (Haverila ym. 2009, 399.)

Kapasiteetin hallinnassa kuormitussuhde (Kaava 1) kertoo kuinka suuren osan suunniteltu tuotanto kuormittaa kapasiteettia. Kuormitussuhde on tietyn ajanjakson suhteellinen kuormitus maksimikapasiteettin verrattuna. (Haverila ym. 2009, 400).

$$\frac{\text{Kuormitus} * 100\%}{\text{Kapasiteetti}} = \text{kuormitussuhde (\%)} \quad (1)$$

Kuormitussuhteen rinnakkaiskäsitteinä ovat käyttöaste- ja suhde, joilla kuvataan toteutuneen tuotannon määrää suhteessa kapasiteettiin. Koko tehtaan toimintaa kuvattaessa käytetään käsitteinä toiminta-astetta ja toimintasuhdetta (Kaava 2) (Haverila ym. 2009, 400.)

$$\frac{\text{Tuotantomäärä} * 100\%}{\text{Tehtaan kapasiteetti}} = \text{toimintasuhde (\%)} \quad (2)$$

Teoreettinen maksimikapasiteetti on usein huomattavasti suurempi, kuin todellinen käytettävissä oleva kapasiteetti eli nettokapasiteetti. Nettokapasiteetti saadaan muodostettua kuvan 8 mukaan. (Haverila ym. 2009, 400).

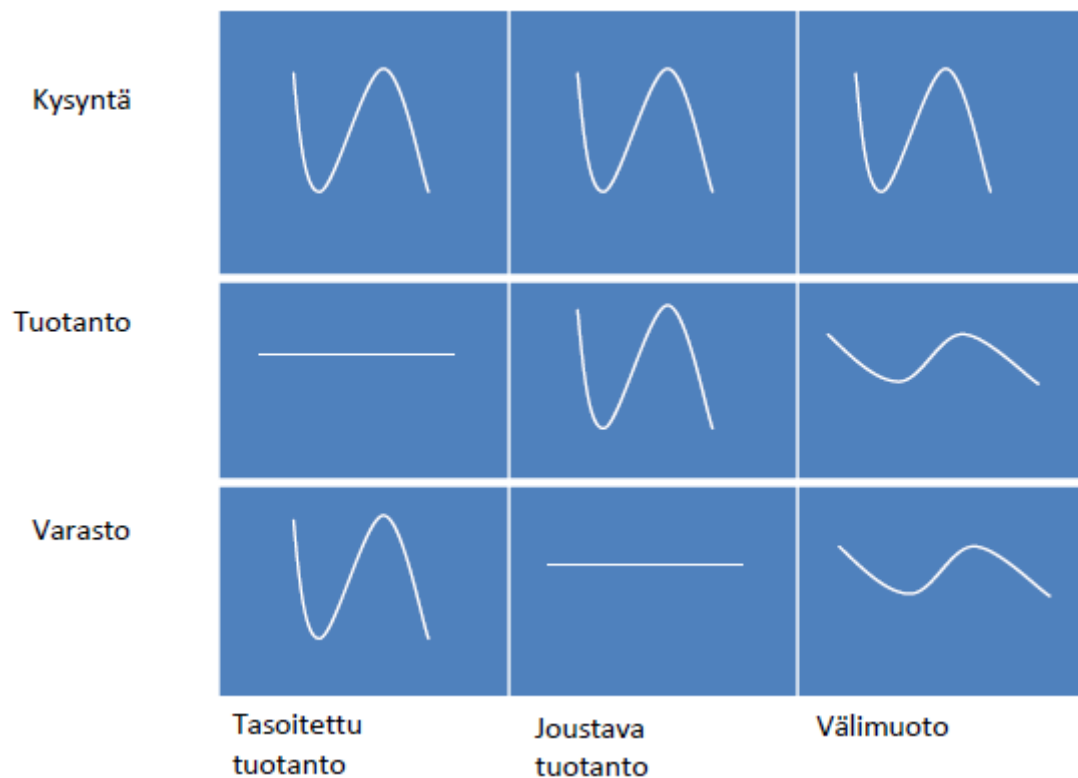


Kuva 8. Nettokapasiteetin muodostuminen (Haverila ym. 2009)

Paperin ja kartongin valmistuksessa ei kuitenkaan esimerkiksi sairaslomilla ja poissaoloilla ole merkitystä koneiden kapasiteettiin, sillä koneiden käyntiä ei tällöin rajoiteta.

### 5.3.1 Kapasiteettisuunnittelu

Teollisuuden yritysten kysynnän vaihdellessa sekä satunnaisesti että ennustettavasti voidaan paperi- ja kartonkiteollisuudessa suunnitella kapasiteetin käyttöä hyödyntämällä varastojen vaihtelua kysynnän vaihteluiden kompensoimiseksi. Alla kuvassa 9 on esitetty taktisen kapasiteettisuunnittelun perusvaihtoehdot, joissa tuotannon kuormituksen suunnitteluun vaikuttavat kysyntä, varastointi ja tuotanto. (Lehtonen 2004, 70.)



Kuva 9. Taktisen kapasiteettisuunnittelun vaihtoehdot (Lehtonen 2004)

Tasoitetussa tuotannossa varastojen avulla pyritään puskuroimaan kysynnän vaihteluita ja pitämään tuotannon määrä vakiona. Tämä sopii yleisesti tilanteisiin, jossa kapasiteetti on kallista ja joustamatonta, kuten paperiteollisuudessa. Volyymiltään joustavassa tuotannossa pyritään taas pitämään varasto mahdollisimman pienenä, ja kysynnän vaihteluihin vastataan muuttelemalla tuotannon määrää kysynnän mukaan. Kolmas vaihtoehto on näiden kahden välimuoto, jossa sekä varastoa että kapasiteettia pyritään ohjailemaan kysynnän mukaan. (Lehtonen 2004, 71.)

### 5.3.2 Materiaalisuunnittelu

Materiaalinsuunnittelun pohjana käytetään materiaalintarvelaskentaa, josta käytetään yleisesti lyhennettä MRP. Sen perusidea on seuraava: suunniteltaessa lopputuotteiden valmistustarpeet, kun tiedetään jokaisen tuotteen vaatimat tuoterakenteet, voidaan suunnitella myös puolivalmisteiden ja osien valmistus- ja hankintatarpeet. Lisäksi valmistus- ja hankintatarpeet voidaan ajoittaa, kun tiedetään valmistusvaiheitten kestot ja hankintojen toimitusajat. (Lehtonen 2004, 74.)

Kartonginvalmistuksessa lopputuotteiden rakenteet voivat koostua useasta eri tasosta eli valmistusvaiheesta. Lopputuotteena voi olla raakakartonkirulla/arkki tai muovipäällystetty kartonkirulla/arkki. Toimitettavien tuotteiden määrän tulee olla tiedossa sitä aikaisemmin, mitä useampaa valmistusvaihetta lopputuotteen valmistus vaatii. (Lehtonen 2004, 75.)

Tuotetta voidaan päättää valmistaa enemmän, kuin tarve vaatisi, jos asetusajat ovat suhteellisen pitkiä tai asiakastilaus on pieni valmistettavaksi. Tällöin valmistetaan kerralla suurempi erä, joka varastoidaan myöhempää tarvetta varten. Näin säästetään tuotantokoneen ajoaikaa vähentämällä pienien tilausten vaatimia asetusajoja ja lyhyitä tuotantoeria.

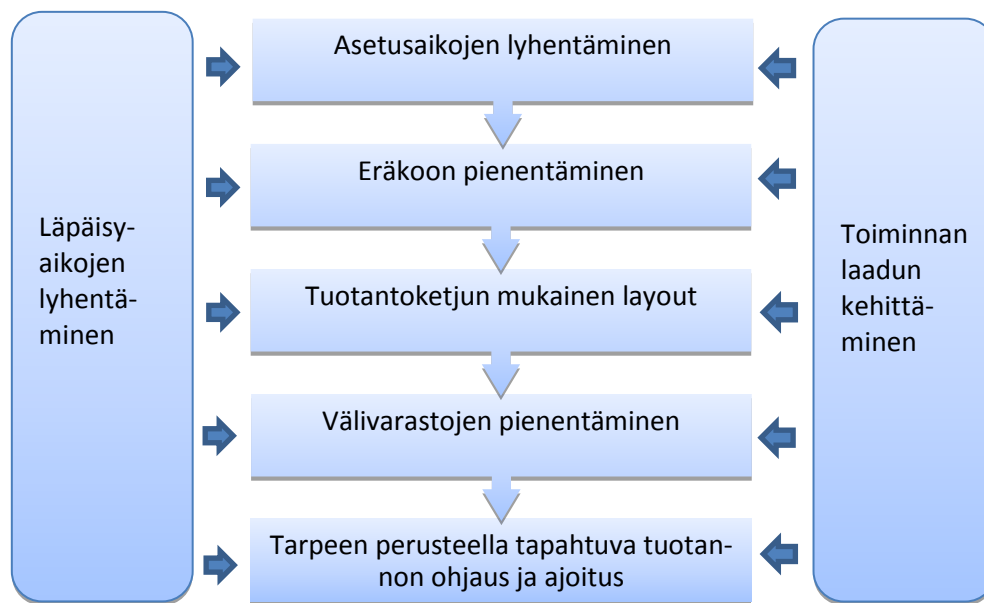
Materiaalitarpeiden lisäksi täytyy ottaa huomioon resurssien suunnittelu valmistuksessa, mikä saadaan selvittämällä resurssitarve. Kunkin tuotantovaiheen kesto on tarvelaskennan lähtökohta, mutta usein tuotannon läpimenoajoista suurin osa kuluu jonotukseen. Kuormituksen vaihdellessa myös läpäisyajat vaihtelevat, vaikka tarvelaskennassa usein oletetaan läpäisyajojen olevan kiinteitä. Jonotusajan pituus on riippuvainen kuormitusasteesta eli koneiden ja konevaiheiden kapasiteetin käytettävyydestä. (Lehtonen 2004, 75.)

### **5.3.3 Just-in-Time – tuotanto**

Just-in-time (JIT) tarkoittaa juuri oikeaan aikaan ja juuri oikeaan tarpeeseen ohjautuvaa tuotantoa. Toimintamallin perustana on niin sanottu imuohjaus, jossa tuotteita ja osia pyritään valmistamaan ainoastaan välittömän tarpeen verran. Korkea tuottavuus ja laatu, nopea läpäisy aika sekä pieni sitoutunut pääoma ovat JIT- tuotannon tunnuspiirteitä. (Haverila ym. 2009, 428.)

Materiaalivirrat ja tuotannonohjaus pyritään järjestämään mahdollisimman tehokkaasti ja selkeästi. Tuotantojärjestelmä sallii tuotetyyppien ja lajien nopeat vaihtelut, jolloin myös eri tuotteiden ja valmistustehtävien toistuvuus on suuri (Haverila ym. 2009, s. 428). Kartonginvalmistuksessa yhdellä koneella valmistetaan useaa eri tuotetta tai lajia peräkkäin, minkä avulla voidaan vastata nopeasti asiakkaiden toimitusvaatimuksiin.

Toimintamallin kehittämisen lähtökohtana on valmistuksen asetusajkojen lyhentäminen asetustekniikkaa ja menetelmiä kehittämällä. Joidenkin kartonkikoneiden ajot suunnitellaan suhteellisen lyhyiksi, mikä vähentää tuotannon läpäisyajoja mutta voi aiheuttaa lajinvaihtohylkyä ja aikahyötysuhteen huononemista. Layout suunnittelun avulla peräkkäiset tuotantovaiheet suunnitellaan työkulun mukaisiksi, mikä mahdollistaa välivarastojen pienentämisen. Alla kuvassa 10 on JIT- tuotannon kehittämisen vaiheet. (Haverila ym. 2009, 428.)



Kuva 10. JIT- tuotannon kehittämisen vaiheet (Haverila ym. 2009)

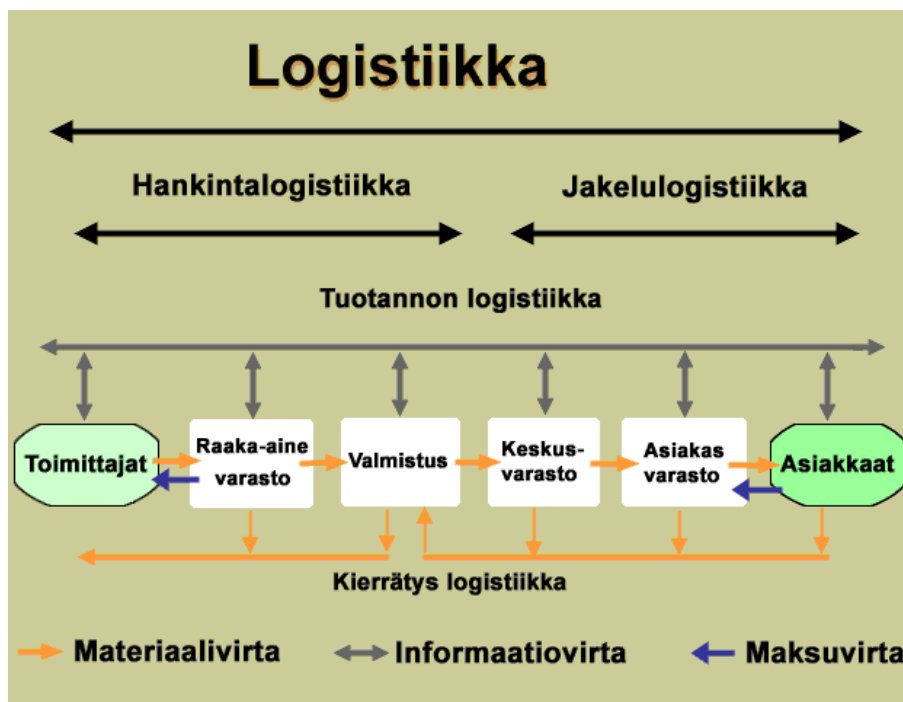
Lyhyt läpäisy aika sallii tuote- ja puolivalmisteverastojen pienentämisen, mutta laatuvirheiden kustannukset voivat vastaavasti kasvaa huomattavan suuriksi, sillä ne voivat vaikuttaa koko tuotantoon ja sitä kautta toimitusketjuun. JIT- tuotannon nopeuden ja selkeyden vuoksi virheiden syyt ovat helposti havaittavissa, jolloin laadun kehittäminen on helpompaa. Pienten varastojen myötä myös toimintoihin sitoutuneen pääoman määrä on vähäinen.

## 6 Tuotannonohjaus ja logistiikka

Logistiikka on materiaali-, tieto- ja pääomavirtojen, hankinnan, tuotannon, jakelun ja kierrätyksen, huolto- ja tukipalvelujen, varastointi, kuljetus- ja muiden lisäarvopalvelujen sekä asiakaspalvelun ja –suhteiden kokonaisvaltaista johtamista ja kehittämistä (Karrus 2003, 13).

Logistinen prosessi muodostuu, kun organisaation tavarantoimitamiseen liittyvät vaiheet linkitetään yhdeksi kokonaisuudeksi. Se alkaa asiakkaiden tietovirtojen kulkemisesta yrityksen kautta tavarantoimittajille ja tavaravirtojen liikkumisesta päinvastaiseen suuntaan. Logistiikka tukee liiketoiminnan ydinprosessin toteuttamista ja kulkee yrityksen läpi monen vastualueen, kuten tuotannon, oston ja markkinoinnin kautta. (Sakki 2003, 23 - 24.)

Logistiikkaa ei voida mieltää ainoastaan kustannuksia säästävän toimintona, vaan se on tärkeä osa asiakaslähtöisen palvelun strategiaa. Logistiikan toteuttaminen muodostaa yritykselle keskeisen menestystekijän, jolla se voi parantaa kilpailukykyään toteuttamalla logistista prosessia paremmin ja nopeammin kuin kilpailijansa. Logistiikan keskeiset tavoitteet ovat kustannustehokkuuden ohella nopeat läpäisyajat sekä asiakaspalvelun kehittäminen. Kuvassa 11 on esitetty logistiikka kokonaisuutena. (Sakki 2003, 25.)



Kuva 11. Logistiikka kokonaisuutena (KnowPap 2011)

Tuotannonohjauksen tehtäviä ovat työn suorittamisen yksityiskohtainen suunnittelu, työnjakelu, työtehtävien ohjaaminen, valvonta ja raportointi. Yrityksen layout sekä tehtävien toistuvuus vaikuttavat suuresti tuotannon ohjauksen tehtävien sisältöön. Ohjauksen näkökulmasta vaikeimpia ovat räätälöidyt tilaustuot-

teet, jotka valmistetaan yksittäin. Vakiotuotteiden toistuva valmistus on helppoa, koska tuotannon tehtävät toistuvat samanlaisina. (Haverila ym. 2009, 425.)

## 6.1 Syklinen tuotannonohjaus

Stora Enso Oyj:n Imatran tehtailla käytetään kartongin valmistuksessa syklistä tuotannonohjausta, jota käytetään toistuvassa tuotannossa tuotannonsuunnittelu- ja valvontamenetelmänä. Se perustuu myyntisuunnitelmiin ja asiakastilauksiin, joissa tuotteen/tilauksen valmistussarjojen aloitus tai kokonainen aikataulu toistuvat kokonaisvaltaisesti koordinoituna tasaisin aikavälein eli sykleittäin. KA1:n osalta syklit muodostuvat 16 - 18 lajista, jotka ajetaan 3 - 4 viikon sykleissä. Vähemmin kysyttyjä tuotteita ei ajeta jokaisessa syklissä, minkä vuoksi lajien määrä vaihtelee syklin mukaan. Kartonkikone 1:n osalta ajosyklien jaksoitus on hieman muuttunut uuden tuotteen Cupforma Naturan myötä. (Suomen metalliteollisuuden keskusliitto 1982; Häyhä 2011.)

Syklisen tuotannonohjauksen kriteereinä ovat seuraavat olettamukset:

- Tuotevalikoiman, -ryhmien ja tuotteiden on oltava mahdollisimman yhtenäisiä ja vakiintuneita.
- Myyntisuunnitelman on oltava ajan tasalla ja ulotuttava esimerkiksi vuodeksi eteenpäin. Kysynnässä ei saa esiintyä suuria muutoksia.
- Tuotannon läpäisyajoista, työvaiheajoista ja kapasiteetista on oltava mahdollisimman tarkat tiedot.

Lisäksi materiaalien hankintasuunnitelmien ja niiden toteutumisen on oltava tarkkaa, mihin syklinen tuotannonohjaus antaa jo itsessään paremmat edellytykset (Suomen metalliteollisuuden keskusliitto 1982).

Onnistunut syklinen tuotannonohjaus mahdollistaa seuraavia etuja:

- Lyhyemmät läpäisyajat, jolloin vaihto-omaisuuden kustannukset ovat myös pienemmät. Syinä tähän ovat korkeiden volyymiarvon omaavien tuotteiden priorisointi ja työvaiheiden limittäminen.
- Kapasiteetin hyväksikäyttö voidaan suunnitella paremmin.

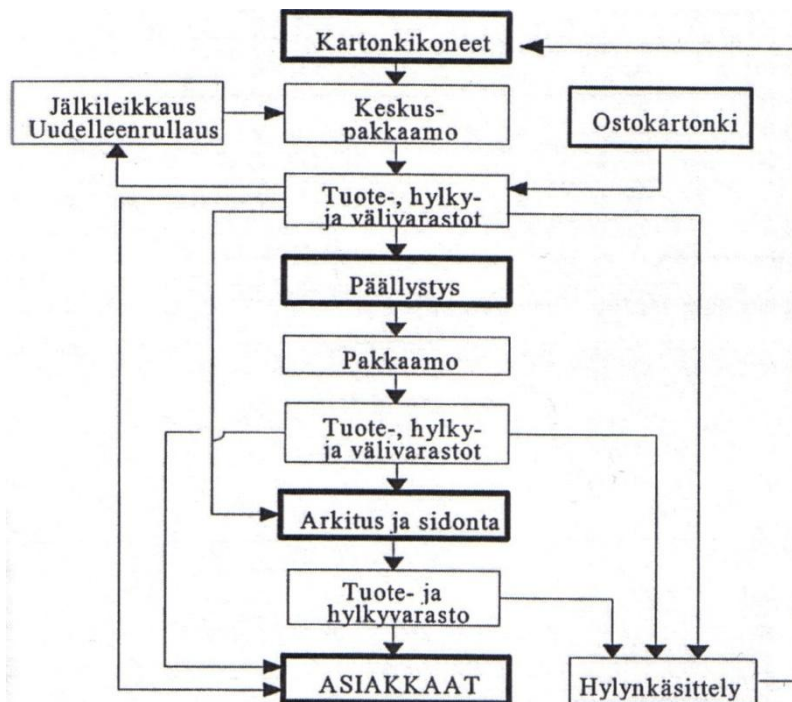


Syklinen tuotannonohjaus mahdollistaa paremman toimitusvarmuuden tuotteille, koska läpäisyajat sekä materiaalien tarveajankohdat ovat ennalta tunnetut. Syklinen tuotannonohjaus tuo yrityksen eri toimintojen väliin yhtenäisen ajattelutavan. (Suomen metalliteollisuuden keskusliitto 1982.)

Haittapuolina mainittakoon, että syklinen tuotannonohjaus reagoi hitaasti aikataulumuutoksille ja usein muutosten tekeminen on työlästä. Tuotantomalli on altis häiriöille ja vaatii toimiakseen suuren kapasiteettireservin. Taloudellisista sarjasuuruuksista on hankala pitää kiinni, jolloin valmisteluajojen osuus helposti kasvaa ja samalla konekapasiteetti vähenee. (Suomen metalliteollisuuden keskusliitto 1982.)

## 6.2 Materiaalivirrat ja varastot Imatran tehtailla

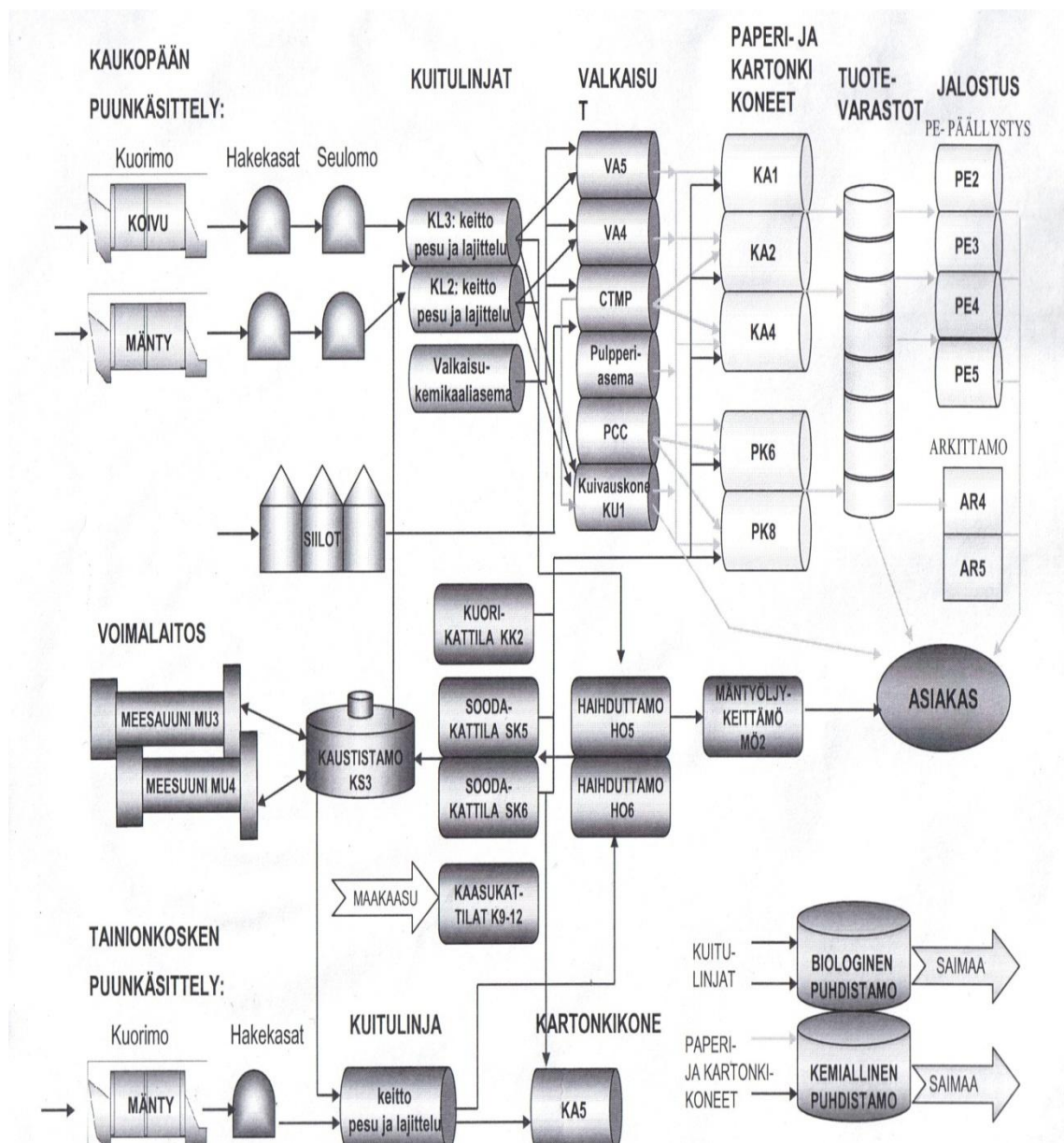
Varastot ovat luonnollisesti osa yrityksen liiketoimintaa paperi- ja kartonkiteollisuudessa. Varastojen merkitys tilaus-toimitusketjussa on kysynnän vaihteluiden hallinnan parantaminen sekä tuotannonohjauksen helpottaminen. Toisaalta korkeiden varastotasojen ylläpitäminen on yritykselle kallista, koska ne sitovat pääomaa (Sakki 2003). Kuvassa 12 on esitetty Imatran tehtaiden tuotantoprosessien väliset välivarastot.



Kuva 12. Tuotantovaiheiden väliset varastot (Reiman 1996)

Tuotantovaiheiden välisiä varastoja syntyy useasta eri syystä, mutta merkittävin syy on tuotannon syklisyys ja siitä aiheutuva eräkokovarastojen syntyminen. Välivarastoilla pyritään ajoittamaan toimitusajat mahdollisimman tarkasti niin, että tuotteet eivät seisoisi turhaan varastoissa. Peräkkäisten tuotantovaiheiden välisien puskurivarastojen syntyminen on kartonkiteollisuudessa lähes välttämättömyyden ja kuuluu osaksi toiminnanohjausta.

Kuvassa 13 esitelty Imatran tehtaiden lohkokaavio nykyisessä tilassaan poislu-  
kien Paperikone 8 (PK8) sekä Arkkileikkuri 5 (AR5) Lisäksi Päälystyskone 4:n  
tuotanto on siirtynyt Imatran Kaukopään päälystyskoneille.



Kuva 13. Kartonkitehtaan lohkokaavio (Stora Enson intranet 2011)

Imatran Kaukopään tehtaisiin kuuluvat kolme kartonkikonetta, yksi paperikone, kolme päällystykonetta ja yksi arkituskone. Lisäksi Kaukopäässä on kaksi jälkirullainta.

## **7 Tuotantolinjojen hyötysuhteet**

Olennaisesti tuotannon talouteen ja tuotteiden laatuun vaikuttava tekijä on paperi- tai kartonkilyn hyötysuhde. Hyötysuhdetta mitataan pääasiassa kahden eri tekijän mukaan, joiden perusteella määräytyy myös kokonaishyötysuhde. Aikahäviötä mittaamalla saadaan selville tuotantokoneen todellinen tuotantoaika joltakin tietyltä aikaväliltä, josta voidaan laskea aikahyötysuhde. (Häggblom – Ahnger & Komulainen 2001, 262 - 263.)

Kartonkikoneen hyötysuhteita tarkasteltaessa toinen ja usein merkitsevämpi häviö on kartonkihylky, jonka perusteella voidaan laskea materiaalihyötysuhde. Näiden kahden hyötysuhteen tuloa sanotaan kokonaishyötysuhteeksi. Jatkojalostuksessa, kuten arkkileikkauksessa lasketaan hyötysuhde erikseen. (Häggblom – Ahnger & Komulainen 2001, 262 - 263.)

Materiaalihäviöiden vaikutus tuntikatteeseen on merkittävä, sillä ne lisäävät tuotantolinjan kustannuksia ja pienentävät tuotteiden tuntikatetta. Materiaalihäviöitä on mahdotonta kokonaan välttää, mutta niiden määrään voidaan vaikuttaa tuotannonsuunnittelun avulla. Jokaisessa tuotantovaiheessa syntyy materiaalihäviöitä ratakatojen, laatuhylyn sekä reunanauhojen- ja trimmihylyn takia. Materiaalihylyn seuranta on erittäin tärkeää niiden vähentämisen ja tuntikatteen maksimoimisen kannalta. (Soro 2005, 23.)

### **7.1 Materiaalihyötysuhde**

Tarkempi ja konkreettisempi tapa mitata koneiden tehokkuutta on materiaalihyötysuhde, sillä kartonkikoneen on tarkoitus tuottaa kartonkia myytäväksi eikä ainoastaan varmistaa koneen käymistä. Materiaalihyötysuhde määritetään toteutuneen tuotannon osuutena teoreettisen täystuotannon määrästä, jota vähentää hävikki. (Paldanius 2004, 13.)

Materiaalihyötysuhde (MHS) kannattaa useimmiten laskea pinta-alana (Kaava 3), jotta saadaan todellinen käsitys hyllyn suhteesta nettotuotantoon. Painon mukaan laskettaessa on ongelmana neliömassan lisääntyminen päällystyksessä tai väheneminen superkalanteroinnissa kuivumisen seurauksena. Konelinjan tehokkuutta seurattaessa on myös hyvä määritellä hylsyjen ja pakkauskääreitten osuus hyötysuhteeseen, sillä yleensä niitä ei lasketa hylkyä vähentäväksi tekijäksi. (Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 262 - 263.)

$$\frac{\text{Pinta} - \text{ala pakattu netto}}{\text{Pinta} - \text{ala kone brutto}} * 100\% = MHS (\%) \quad (3)$$

(Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011)

Määrähyötysuhde ( $\eta_M$ ) voidaan ilmoittaa myös myydyn ja teoreettisen tuotannon suhteena seuraavasti (Kaava 4; Peltonen 2000, 19).

$$\frac{\text{Myyntituotanto}}{\text{Teoreettinen tuotanto kartonkikoneen rullaimella}} = \eta_M \quad (4)$$

## 7.2 Aikahyötysuhde

Aikahyötysuhteen osatekijöiden mittaaminen on selkeää, ja koneen aika voidaan jaotella tuotantoajaksi, katkoajaksi sekä seisakkiajaksi. Seisakkiajaksi määritellään sellainen hukka-aika, jolloin konesäiliön pumppu seisoo ja massa-virtaukset ovat nolli. Katkoaikana massa virtaa, mutta massarina hyllytetään, eikä silloin synny kartonkia. Kartongin ollessa rullaimella aika on tuotantoaika. (Torkkeli 1999, Hägglom-Ahnger & Komulainen 2001, 262 - 263.)

Aikahyötysuhde kuvaa tuotantolaitteistojen käyntiaikaa tuotantoajan ja hukka-ajan suhteena. Ylimääräiset katkot ja seisakit, heikko käyntivarmuus sekä tilauspula laskevat koneen tuottavuutta, jolloin myös koneen kannattavuus huononee. (Paldanius 2004, 12 - 13.)

Kartonkikoneen aikahyötysuhde voidaan laskea kaavasta (Torkkeli 1999)

$$\eta = 1 - \frac{t_k}{t_{al}} \quad (5)$$

jossa  $t_k$  on kartonkikoneen katko aika, min

$t_{ai}$  on kartonkikoneen ajoaika, min

Sama laskukaava voidaan ilmoittaa myös prosenttiyksiköillä kaavan 6 mukaan (Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011):

$$\frac{\text{Tuotantoaika}}{\text{Käytettävissä oleva aika}} = \text{Aikahyötysuhde (\%)} \quad (6)$$

### 7.3 Kokonaishyötysuhde

Kokonaishyötysuhde kertoo jonkin yksikön tai linjan kokonaistehokkuuden ottamalla huomioon niin materiaali- kuin aikahyötysuhteen. Sen avulla saadaan laajempi käsitys todellisesta tehokkuudesta tietyn ajanjakson aikana. (Paldanius 2004, 14.)

Kokonaishyötysuhde (Kaava 7) lasketaan aikahyötysuhteen ja määrähyötysuhteen tulona. Kokonaishyötysuhde ei kuitenkaan kerro todellista taloudellista tehokkuutta, koska siinä ei oteta huomioon kaikkia tuotannontekijöitä, kuten energiankulutusta (Paldanius 2004, 14; Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011).

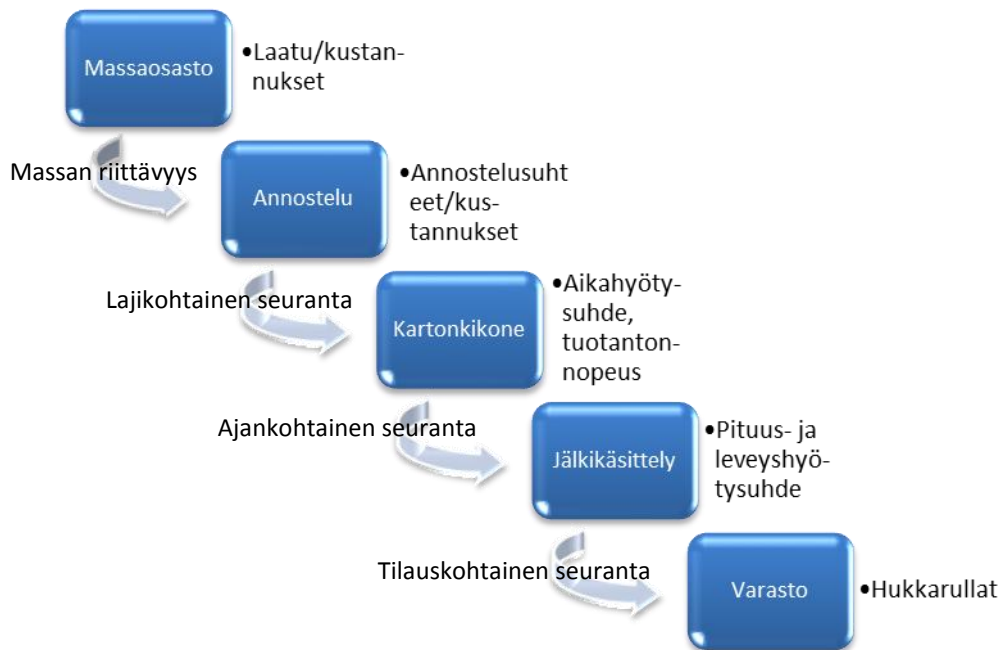
$$\text{Materiaalihyötysuhde} * \text{Aikahyötysuhde} = \text{Kokonaishyötysuhde (\%)} \quad (7)$$

### 7.4 Mittaaminen ja seuranta

Hylyn mittaaminen on tarkempaa kuin aikahäviön mittaaminen lopullisen nettotuotannon ja hylkyruillien punnituksen tarkkuuden vuoksi. Pinta-ala saadaan automaattisesti leveyden- ja pituusmittausten avulla, mutta kaikki suoraan kartonkikoneelta pakattu nettotuotanto ei välttämättä vastaa todellista myydyn kartongin määrää, koska hylkyä voidaan havaita myöhemmässäkin vaiheessa. Hyötysuhdelukemat tulisi muuttaa joko ajaksi tai tonneiksi prosenttien sijasta, koska eri kartonkilajeilla on eri hinta ja eri tuotantokyky. Näin ollen materiaalin menetykset voidaan laskea tuntikatteen menetyksinä. (Häggbloom-Ahnger & Komulainen 2001, 263.)

Normaalisti paperi- ja kartonkikoneiden kokonaishyötysuhteet vaihtelevat välillä 75 % - 95 %. Huonoimmillaan paperi- ja kartonkikoneen kokonaishyötysuhde on yleensä projektien ja investointien jälkeen, jolloin kokonaishyötysuhde voi tippua

jopa 50 %:n. Hyötysuhteiden seurannan vaiheet on esitetty kuvassa 14. (Häggblom-Ahnger & Komulainen 2001, 263.)

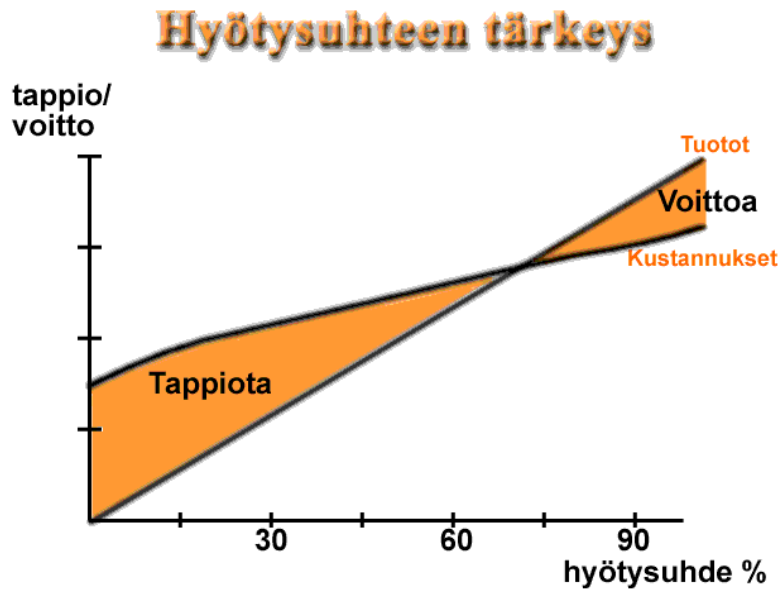


Kuva 14. Hyötysuhteiden seuranta (muokattu: Torkkeli, M. 1999)

Paperi- ja kartonkikoneiden tuotantonopeuden kasvu ei ole vaikuttanut tilastojen perusteella negatiivisesti kokonaishyötysuhteisiin. Jotta rullaimen nettotuotanto kasvaisi samassa suhteessa konenopeuden kanssa, on tärkeää ylläpitää hyötysuhde korkealla tasolla.

## 7.5 Hyötysuhteen vaikutus

Kartonkitehtaan kannattavuuden optimoimiseksi voidaan yhtenä menestystekijänä listata kapasiteetin maksimaalinen hyväksikäyttö. Perussääntönä voidaan sanoa, että paperi- tai kartonkikoneen kapasiteetin käyttöasteen tulee olla yli 70 % (Kuva 15), ennen kuin kone alkaa tuottamaan voittoa. (Mattila 2005, 17.)



Kuva 15. Hyötysuhteen merkitys (KnowPap 2011)

Vuorokaudenkin suunnittelematon seisakki aiheuttaa kartonkikoneella suuren menetyksen liikevaihdossa. Mattilan (2005, 17) mukaan vuorokauden seisakki paperikoneella tarkoittaisi noin 500 000 euron menetystä liikevaihdossa, mikä on huomioonotettava seikka kapasiteetin maksimoimisessa. Oikeiden tuotevalikoimien ja koneketjujen avulla kartonkitehtaan kannattavuuteen voidaan vaikuttaa merkittävästi.

## 8 Tuotannonsuunnittelu

Tuotannonsuunnittelun keskeisimpänä tavoitteena on mahdollistaa asiakastilausten valmistus mahdollisimman kannattavasti tilausvaatimusten puitteissa. Avainvaatimuksina ovat lajinvaihtojen ja asetteiden, trimmihäviöiden ja varastojen minimointi sekä jatkojalostuksen tehokkuuden maksimoiminen. (Stora Enso intranet 2010.)

Tuotannonsuunnittelulla pyritään vaikuttamaan useisiin kustannustekijöihin, kuten esimerkiksi leikkuu- eli trimmihukan syntymiseen, lajinvaihtokustannuksiin sekä myöhästymis-, jakelu-, ja varastointikustannuksiin. Tehokkaalla tuotannon kapasiteetin ja materiaalien hyödyntämisellä voidaan parantamaan tehtaan kilpailukykyä. (Paldanius 2004.)

## **8.1 Tuotantocyklit**

Kartonkikoneiden tuotantocyklit pyritään suunnittelemaan mahdollisimman pitkälle aikavälille jo etukäteen, mikä on osa pitkäntähtäimen suunnittelua. Tuotantocyklit muodostetaan tuotevalikoiman mukaisesti kiertävässä järjestyksessä niin, että lajinvaihtojen kokonaiskustannukset ovat mahdollisimman pienet (Salomäki 2001, 15 - 17.)

Tuotantocykliin ohjausparametrit muodostuvat lajinvaihtojärjestyksestä ja tuotantomäärästä, jotka määrittelevät tuotantocykliin pituuden. Näiden tietojen perusteella muodostetaan KA-koneiden ajo-ohjelmat eli karkeasuunnitelmat (Rough Production Planning). Alustavat ajosuunnitelmat ulottuvat kuukausien päähän ja näitä päivitetään tilanteen mukaan valmistusajankohtien lähestyessä. (Häyhä 2011.)

## **8.2 PE- koneiden tuotantocyklit**

PE-koneiden tuotantocyklit pyritään suunnittelemaan KA-koneiden tavoin eli mahdollisimman pitkälle aikavälille, mutta syklejä monesti muutetaan lyhyilläkin aikaväleillä. Tiettyjen erikoistuotteiden ajot pyritään valmistamaan aina ennalta sovittuna ajankohtana toimitusaikavaatimusten saavuttamiseksi. Näitä ovat esimerkiksi Bio-päälystetyt tuotteet.

## **8.3 Lajinvaihto**

Tuotteiden ominaisuudet eroavat toisistaan loppukäytön perusteella, ja siksi myös niissä käytettävät raaka-ainekoostumukset ovat erilaisia. Raaka-aineyhdistelmät voivat olla haasteellisia toteuttaa, koska kaikkien tarvittavien ominaisuuksien saavuttaminen yhtä aikaisesti voi olla vaikeaa. Lajinvaihto on toiminto, jolla tuotantokoneisto asetetaan seuraavan ajettavan tuotteen tai lajin mukaisesti. (Salomäki 2001, 26.)

Kartonginvalmistus on prosessityyppistä tuotantoa ja siksi lajinvaihdon ennustaminen on huomattavasti vaikeampaa verrattuna esimerkiksi kokoonpanoteollisuuteen. Lajinvaihdon haasteellisuus johtuu pitkälti tuotespesifikaatioiden laajuudesta ja reseptien muutoksesta tuotteiden välillä (Karjalainen & Fogelholm 2001, 92). Lajinvaihtoon kuluva aika riippuu pitkälti siitä, kuinka suuri muutos



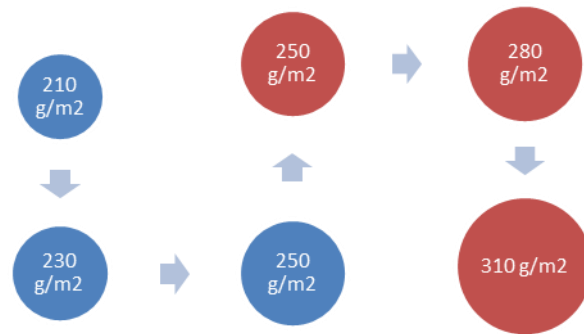
tapahtuu tuotteen reseptissä. Esimerkiksi saman tuotteen vaihtaminen eri neliögrammapainoon voi tapahtua hyvin pikaisesti ja ilman suurempaa hylkytuotantoa, mutta vastaavasti kokonaan eri tuotteesta toiseen siirtyminen voi aiheuttaa merkittävän aika- ja materiaalihäviön. (Luukkonen 2011.)

Eri tuotteet sopivat perusominaisuuksiltaan eri tavalla tuotantoprosessiin, jolloin myös niiden kustannusvaikutukset vaihtelevat prosessissa. Tuotteet, jotka vaativat pidempiä asetusajoja ja aiheuttavat enemmän hylkyä sopivat tuotantoprosessiin luonnollisesti huonommin. Pihlajanniemen (1996) mukaan tuotannon suunnittelussa tulisi noudattaa ajo-ohjelmassa seuraavia sääntöjä tilauskannan salliessa. (Salomäki 2001, 17.):

1. Saman tuotteen kaikki neliömassat ajetaan peräkkäin nousevassa tai laskevassa järjestyksessä
2. Tuotteiden lajinvaihto tapahtuu samassa neliömassassa. Uuden tuotteen neliömassoja ajetaan päinvastaisessa järjestyksessä, kuin lopetetun tuotteen.

Kartonkikoneiden syklitykseen vaikuttavat suunnittelemattomat lyhyen aikavälin muutokset, jolloin ajon kestoa tai lajienvaihtojärjestystä joudutaan muuttamaan. Tuotantosyklilien muutokset johtuvat tilausmäärien muutoksista, tilausten täydennyksistä, konekatkoista tai laadullisista syistä, jolloin koneelta saatava kartonki ei vastaa tuotespesifikaation vaatimustasoa. Viime vuosien aikana näiden muutoksien määrä on noussut. (Luukkonen 2011.)

Kartongin valmistuksen kannattavuus perustuu syklisen tuotannonohjauksen perusedellytykseen, jossa syklit ja ajot muodostetaan kiertävässä järjestyksessä neliögrammapainosta seuraavaan kustannukset minimoiden. Syklit myös suunnitellaan jo kuukausia ennen varsinaisen ajon ajankohtaa. Usein joudutaan kuitenkin tekemään viime hetken muutoksia jopa muutamia päiviä ennen ajon aloittamista, mikä on tuotannon kannalta haasteellista ja voi vaikuttaa koko toimitusketjuun. Alla kuvassa 16 on esitetty pelkistetyksi lajinvaihtoperiaate, jossa sinisellä merkattu tuote A vaihtuu tuotteeseen B samassa neliömassapainossa:



Kuva 16. Esimerkki lajinvaihtojärjestyksestä (Stora Enso Fenix-toiminnanohjausjärjestelmä 2011)

Kuvan 16 lajinvaihtojärjestys on optimaalinen ja karikoitu esimerkki, johon ei kuitenkaan aina ole mahdollista päästä, mikä johtuu suunnittelemattomista muutoksista.

#### 8.4 PE-koneiden lajinvaihdot

Syklisen tuotannonsuunnittelun periaatteiden mukaisesti myös PE-koneiden lajinvaihdot pyritään toteuttamaan mahdollisimman taloudellisesti ja tehokkaasti. Suurimpia lajinvaihtoja, joissa kuluu aikaa ja syntyy materiaalihäviötä suhteellisen paljon, pyritään luonnollisesti ajoittamaan mahdollisimman harvakselleen.

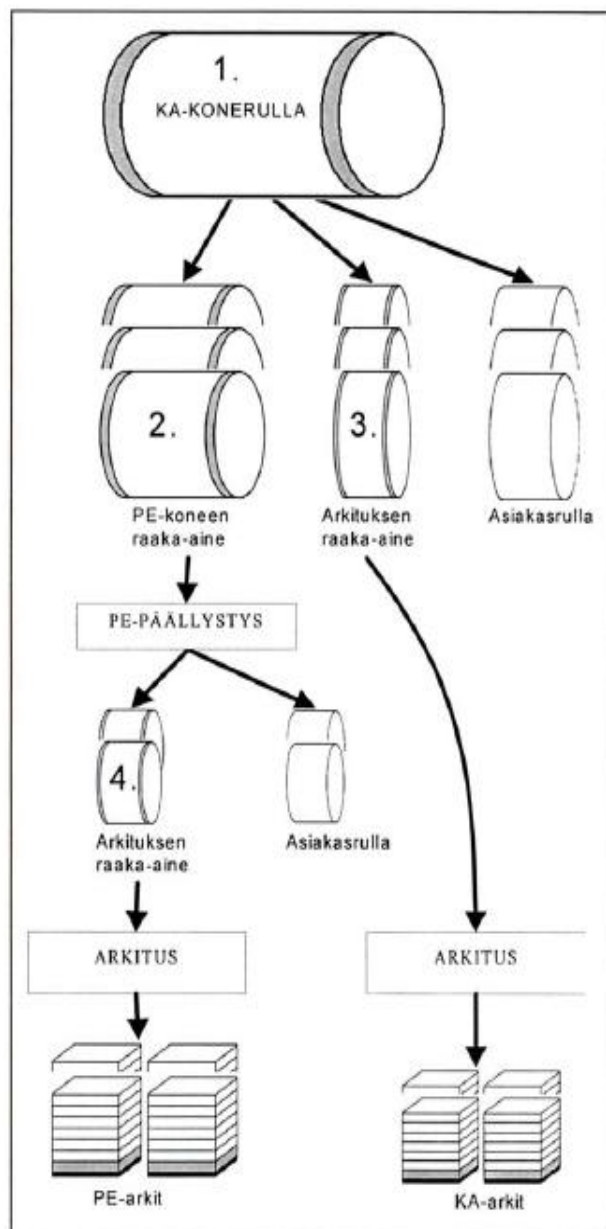
Yksi- ja kaksipuoliset päällystettävät tuotteet ajetaan erikseen, minkä jälkeen otetaan huomioon muovimäärät. Pohjakartongin neliömassasta huolimatta samalla muovimäärällä päällystettävät tuotteet päällystetään yhdessä. Päällystettävät tuotteet ajetaan leveästä kapeaan tilausten mukaisesti, jolloin leveyksien vaihdot kapeampaan pyritään suorittamaan suoraan vauhdista. (Karttunen 2011.)

#### 8.5 Trimmitys

Trimmittäessä tuotannonsuunnittelija määrittää, miten kartonkikoneen tuottama kartonkirata leikataan pituus- ja leveyssuunnassa asiakasvaatimusten mukaisesti. Imatran tehtailla kartonkia valmistetaan raakarullina/arkkeina tai päällystettyinä rullina/arkkeina, minkä vuoksi tuotannonsuunnittelu ulottuu kartonkikoneilta jatkojalostuskoneille. Tällöin puhutaan kaksi- tai kolmevaihe trimmitykses-

tä riippuen siitä, montako konetta lopputuotteen valmistaminen vaatii. (Paldanius 2004, 33; Häyhä 2011.)

Raaka-aine kartonki valmistetaan aina suurempaan kokoon eli leveyteen, kuin millaisena asiakas sen haluaa. Tämän takia tuotannonsuunnittelun avulla tulee määrittää, kuinka leikata tarvittavat lähtöaihiot, jotta saadaan valmistettua oikeankokoisia lopputuotteita asiakkaan toivomusten mukaisesti. Tätä ongelmaa kutsutaan leikkausongelmaksi eli ”The Cutting Stock problem”. Kuvassa 17 on demonstroitu trimmitystä ja sen vaikutusta jatkojalostusprosessin kannalta. (Paldanius 2004, 33.)



Vaihe 1.

Kartonkikoneen konerullan leveys hyödynnetään trimmittämällä yhteen tilausten mukaisia asiakasrullia sekä päällystysten ja arkituksen raaka-ainerullia.

Vaihe 2.

Päällystyskoneelle menevät raaka-ainerullat täytetään yhdistämällä asiakasrullia ja arkituksen raaka-ainerullia.

Vaiheet 3. ja 4.

Arkkilauksista muodostetaan erilaisia rullia arkituskoneiden arkeille asettamien mittarajoitusten puitteissa.

Kuvassa tummilla merkityt rullien reunat kuvaavat valmistusvaiheiden reunanauhoja, jotka on varattava jokaiseen yksittäiseen

rullaan. Reunanauhat leikataan käsittelyn jälkeen pois, jotta rullille ja arkeille saadaan tasaiset reunat.

Kuva 17. Kartongin ja jatkojalostuksen prosessikaavio (Paldanius 2004, 34)

Kuvatekstissä mainitut tummennetut alueet voivat yhtä hyvin olla myös trimmi-hukkaa tilanteessa, jossa konerullan tai vastaavasti jatkojalostuksen raaka-ainerullan koko leveyttä ei pystytä kokonaan hyödyntämään. Reunanauhat kuvaavat siis minimimateriaalihukkaa, joka syntyy trimmitysvaiheessa. (Paldanius 2004, 34.)

Trimmittäessä useita tilauksia samaan ajoin tilauksilla on oltava samat seuraavat ominaisuudet (Häyhä 2011):

1. laji ja paino
2. rullaussuunta
3. rullan halkaisija

Puhuttaessa yksivaiheisesta leikkausongelmasta, on koneketjussa ainoastaan yksi kone eli kartonkikone. Tällöin trimmitysongelma ulottuu ainoastaan tälle yhdelle kartonkikoneelle eikä tuotannonsuunnittelussa tarvitse ottaa huomioon jatkojalostukseen menevien raaka-ainerullien leveyksiä ja niiden yhteensovittamista seuraaville konevaiheille. Leikkausongelman aiheuttaa tällöin kartonkikoneen konerullan leikkaaminen pituusleikkurilla kapeammiksi asiakasrulliksi. Tavoitteena ongelman ratkaisuksi on (Torkkeli 1999.)

- trimmihukan minimointi
- ylituotannon välttäminen
- tarpeettomien asetteiden välttäminen pituusleikkurilla

Monivaiheisessa trimmityksessä tärkeimpänä tavoitteena yleisen käsityksen mukaan on raaka-ainekoneen eli kartonkikoneen ratalevyden mahdollisimman tehokas hyödyntäminen. Asiakastilauksen mukaan konerullaan trimmitetään raaka-ainetilaukset ja jatkojalostukseen menevät tilaukset rataleveys mahdollisimman tehokkaasti hyödyntäen. Prioriteettina on kuitenkin kartonkikoneen

maksimi trimmileveys ja toissijaisesti jatkojalostus koneiden trimmileveydet. Kustannussyistä tuotannon optimointi koetaan tärkeämmäksi kartonkikoneella, koska päällystyskoneilla ei niinkään synny trimmihäviötä, vaikka koko koneen trimmileveyttä ei voitaisikkaan hyödyntää. Trimmitysongelma ”Cutting Stock Problem” vaikeutuu sitä mukaa, mitä useamman konevaiheen tuotannonsuunnittelija joutuu ottamaan huomioon maksimaalisen kokonaistrimmihyötysuhteen ja kokonaistaloudellisuuden saavuttamiseksi. (Torkkeli 1999; Paldanius 2004.)

### **8.5.1 Trimmityksen työkalut Imatran tehtailla**

Ennen trimmitystä eli tilausten sovittamista tuotantoon on myynnin saatava tilaukset asiakkailta. Markkinahoitajat käyttävät Fenix-järjestelmää, johon tilaukset syötetään ja alustavasti määrätään tietyille raaka-aine- sekä jatkojalostuskoneille. Fenix- myyntityöjärjestelmä on tarkoitettu myynnin ja asiakaspalvelun tarpeisiin ja se on ollut käytössä Kaukopäässä vuodesta 2000. Tilaukset tulevat syöttämään tuotannonsuunnittelun ja koneiden sallimissa rajoissa (Taulukot 2 ja 3). Tilaukset syötetään Fenix-järjestelmään asiakastilausten mukaan tietyn levyisenä ja tietyille koneille asiakkaan pyytämän toimitusaikavaatimuksen puitteissa. Tämän jälkeen tilaus ilmestyy Stora Enso Imatran tehdastietojärjestelmään, jonne kerääntyy kaikki tuotannollinen data. (Stora Enso intranet 2011.)

Tilauksille on ennalta määrätty koneketjut, jotka markkinahoitaja on määritellyt tilausta syötettäessä. PE-koneiden kuormituksesta, trimmeistä ja tilauskoosta riippuen tuotannonsuunnittelijat voivat kuitenkin muuttaa ennalta määrättyä PE-konetta, jotta tilaus saavuttaa asiakkaiden toimitusaikavaateet. Viime hetken muutoksia voidaan joutua tekemään myös laatuvirheiden takia, jolloin vajaaksi jäänyt tilaus ajetaan täyteen. (Häyhä 2011.)

### **8.5.2 Trimmihäviö**

Merkittävä tekijä tuotannon ja sen kustannusten optimoinnissa on trimmihävikki, jota syntyy, kun koko kartonkirainan leveyttä ei saada kokonaan hyödynnettyä. Ongelma on todellinen varsinkin kartonkikoneilla, sillä jatkojalostuksessa rullat ovat usein jo valmiiksi leikattuina sopiviin aihioihin, jolloin trimmihukkaa ei synny, kuin pakollisista reunanauhoista. Trimmityksessä pyritään minimoimaan paperi- tai kartonkiradan hukka. (Reiman 1996, 81.)

Tilanteessa, jossa varsinaisista asiakastilauksista ei saada aikaan hyvää trimmiä, tarvitaan avuksi ns. sivurataa tai trimmiapua. Sivuratojen avulla päästään koneella vaadittavaan minimi-trimmiin, jonka alle konetta ei tulisi trimmitä. Sivuradoista tuotannonsuunnittelija tekee varastotilauksen, joka varastoidaan ja voidaan yrittää hyödyntää myöhemmin myynnissä sellaisenaan tai jatkojalostettuna. (Häyhä 2011.)

## **8.6 Jalostuslähtöinen tuotannonsuunnittelu**

Jalostuslähtöisen tuotannonsuunnittelun lähtökohtana on optimoida jalostuskoneiden kapasiteetin maksimaalinen hyödyntäminen kustannustehokkaasti. Tuotannonsuunnittelussa tämä tarkoittaisi tuotannon ensisijaista suunnittelemista jalostuskoneiden eli tässä tapauksessa muovipäällystyskoneiden ominaisuuksien ja rajoitteiden ehdoilla. (Paldanius 2004, 41.)

Jalostuslähtöisellä tuotannonsuunnittelulla voi myös tarkoittaa tuotannon optimointia resurssienkäytön näkökulmasta, jolloin jalostuskoneilla pyritään valmistamaan aina oikea määrä lopputuotetta sopivasta määrästä raaka-ainetta. Tällöin minimoidaan yli- ja aliajoja. (Paldanius 2004.)

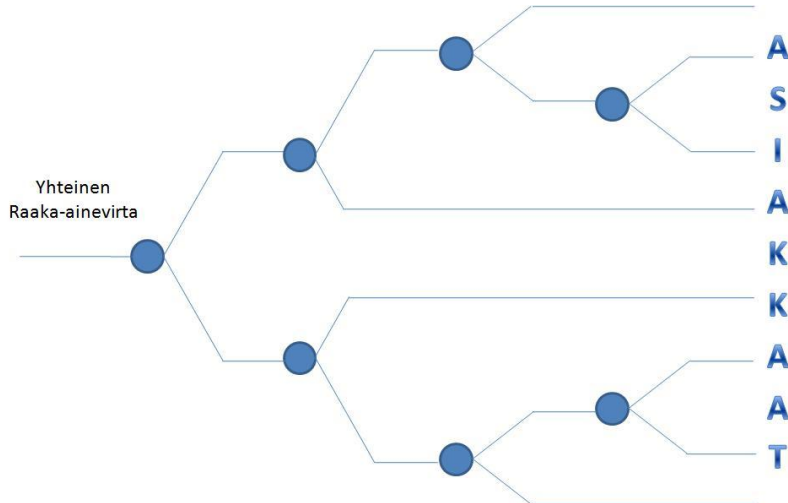
## **9 Kustannusten allokointi ja määrittäminen**

Prosessituotanto kuuluu divergoivaan tuotantoon, jossa yhdestä tai muutamasta raaka-aineesta voidaan valmistaa lukuisia toisistaan kooltaan ja spesifikaatioiltaan eroavia lopputuotteita. Divergoivan tuotannon keskeisimmät karakteristikot voidaan määritellä seuraavasti:

- raaka-ainekeskeinen, nopea valmistus
- huomattavia tuotekustannuksia valmistusprosessin jälkeen
- markkina- ja pääomapainotteinen
- samat raaka-aineet ohjataan yhtenevän tuotantoprosessin läpi
- materiaalivirta haarautuu eri lopputuotteiksi
- osa raaka-aineesta voidaan ohjata takaisin prosessiin uudelleenkäytettäväksi
- lopputuotteet vaihtelevat toisistaan marginaalisesti

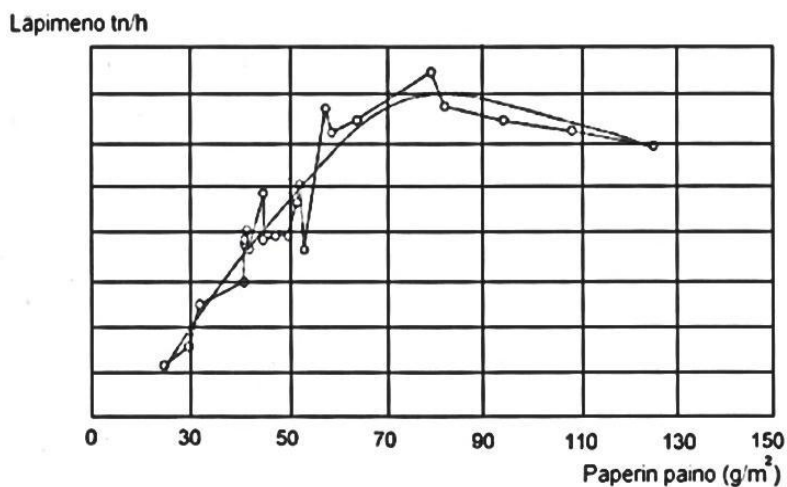
- perinteisten laskentamallien käyttäminen muuttuvien kustannusten määrittelymiseksi on hankalaa. (Fogelholm 2000.)

Raaka-aineen jakautuminen lopputuotteiksi on esitetty kuvassa 18.



Kuva 18. Divergoiva tuotantoprosessi (Fogelholm 1997)

Divergoivassa tuotantoprosessissa kustannusten allokointi vaikeutuu, koska useita eri lopputuotteita voidaan valmistaa samasta raaka-aineesta jatkojalostuksen ja jälkikäsittelyn avulla. Kuvassa 19 on esitetty erään paperikoneen läpimenokäyttäytymistä, jossa kohdistamisparametrinä on käytetty neliögrammapainoa. (Fogelholm 2000.)



Kuva 19. Paperikoneen läpimenostandardi (Fogelholm 1997)

Kuten kuvasta 19 nähdään, niin resurssien käyttö suhteessa aikaan muodostaa epälineaarisen kuvaajan. Kuvan hajonta voidaan perustella monesta eri tekijästä johtuvaksi, kuten esimerkiksi koneen henkilöstön panoksesta kunkin ajon aikana. (Fogelholm 2000.)

Yhtenä ominaispiirteenä divergoivassa tuotantoprosessissa on hyllyn käyttäminen uudelleen prosessissa. Kartonginvalmistuksessa syntyvä hylky ja sen hyödyntäminen on ristiriitaista, koska se on lähes ilmaista raaka-ainetta mutta vie samalla kallista koneaikaa liikevaihtoa kasvattavilta myytäviltä tuotteilta. Hylky voidaan hyödyntää lähes täydellisesti uudestaan tuotantoprosessissa, jolloin se vähentää primäärimassojen tarvetta.

Tuotannon kannalta trimmityssyistä aiheutuvien kustannusten määrittäminen on hyvinkin haasteellista siihen liittyvien teijöiden lukumäärän vuoksi. Rinnakkais-ten ja peräkkäisien tuotantokoneiden, asiakkaiden ja tilausspesifikaatioiden sekä tuotantorakenteiden määrän vuoksi kaikkien tekijöiden kartoitus on erittäin hankalaa. Lisäksi sivuratojen vaikutusta hyötysuhteisiin ja kustannuksiin on vaikea arvioida. (Tervo 2004, 35; Mattila 2006.)

## **9.1 Lajinvaihtokustannukset**

Kartonginvalmistuksessa tuotannon resurssimenetykset ovat merkittäviä jo pelkästään yksittäisessä lajinvaihdossa. Lajinvaihtokustannusten määrittäminen voi olla hyvin hankalaa ja on riippuvainen siihen kuluva ajasta sekä menetetyistä materiaalista. Aika ja hukka taas ovat riippuvaisia lajinvaihdon yhteydessä tapahtuvista asetuksista ja niiden lukumäärästä. (Fogelholm 2000, 56.)





Kuva 20. Lajinvaihtoresurssien ja kustannusten erittely ( KnowPap 2011)

Fogelholmin mukaan lajinvaihdossa suurin kustannus muodostuu menetetyistä myyntikatteista. Lajinvaihtokustannukset voidaan Fogelholmin (2000, 57) ja Salomäen (2001, 65) mukaan määritellä seuraavasti:

*Lajinvaihtokustannukset* =

*Hylkykustannukset + menetetty myyntikate* (8)

Lajinvaihtoon kuluva aika on menetettyä tuotantoaikaa, joka on riippuvainen lajinvaihtoasetteen muutoksen suuruuteen edellisestä ajasta. Lajinvaihtohylyn määrä saadaan selville, kun tiedetään siihen kuluva aika sekä tuotantoteho (t/h). Kun tiedetään lajinvaihdossa syntyvän hylyn määrä, voidaan hylkykustannukset määritellä Salomäen (2001, 65) mukaan seuraavasti:

*Hylkykustannukset* (€)

= *syntyvän hylyn määrä(t) \* tuotantokustannukset (€/t)* (9)

Tuotannon muuttuvia lajinvaihtokustannuksia laskettaessa voidaan olettaa, että syntynyt kuituhylky palautuu takaisin tuotantoon hyödynnettäväksi raaka-aineena, jolloin muuttuvat kustannukset koostuvat menetetystä integraattihyödyistä eli energiasta ja kemikaaleista kaavan 10 mukaisesti. Tuotannon uudelleenajon kiinteät kustannukset syntyvät raaka-aineen palatessa takaisin prosessiin ja niiden voidaan luokitella olevan sidoksissa markkintilanteeseen. (Nikulainen 1998; Salomäki 2001, 66.)

$$\text{Muuttuvat lajinvaihtokustannukset} = \text{kemikaalikustannukset} + \text{energiakustannukset} + \text{muut muuttuvat kust.} \quad (10)$$

Menetetty integraattihyöty tarkoittaa hyllyn aiheuttamaa sellutehtaan vajaakapasiteettia ja sitä kautta menetettyä energiahyötyä sekä menetettyä sivutuotemyyntiä eli sellua. Menetetty myyntikate voidaan laskea kaavan 11 mukaan hylkytuotannon aiheuttamasta myynnin menetyksestä. Nämä kustannukset ovat todellisia kapasiteetin täyskäyttötilanteessa, jolloin jokainen kartonkitonni myydään ja kapasiteetin käyttöasteeksi oletetaan 100 %. (Salomäki 2001, 66; Juntunen 2011.):

$$\text{Menetetty myyntikate (€)} = \text{Lajinvaihdossa syntyvän hyllyn määrä (t)} * \text{myyntikate (€/t)} \quad (11)$$

## 9.2 Trimmihäviökustannukset

Trimmihävikin voidaan katsoa oleva suurin yksittäinen tekijä tuotantokykien kustannusoptimien laskennassa. Tuntikatetta (€/t) tarkasteltaessa on trimmityksessä aiheutuva hukka selkeästi vaikuttava tekijä. Yksittäisien tilausten kannattavuudet eivät kerro koko tuotteen kannattavuutta. Asiakkaan tilatessa samaa tuotetta, mutta useana eri leveytenä, tuotannon todelliset kustannukset voivat vaihdella, vaikka kyseessä on sama tuote ja resepti. (Reiman 1996, 67; Mattila 2006.)

Koneen minimi- ja trimmileveyden saavuttamiseksi tuotannonsuunnittelija voi joutua käyttämään apunaan sivurataa tai trimmiapua, jota ei välttämättä saada hyödynnettyä myynnissä. Sivuratojen käyttäminen ei välttämättä kerro siis tilauksen

todellista trimmautuvuutta. Sivurata myydään priimana sellaisenaan tai jälkirullaimen kautta, jos mahdollista. Tällöin on saatu parhain mahdollinen hyöty ja kannattavuus ilman kapasiteetin suurempaa menestystä. Jos sivurataa ei kuitenkaan saada myytyä priimana, se myydään sekundamarkkinoille sekundahintaan. Viimeisenä vaihtoehtona on, että tietyn varastointiajan jälkeen rulla myydään joko hylkynä tai pulpperoidaan kuiduksi omaan käyttöön, jolloin rullasta saatava hyöty on marginaalinen. Tilanne on hyvin yleinen kartonkiteollisuudessa koneilla, joilla ei ole käytössä standardileveyksiä. (Kuivalainen 2011; Häyhä 2011.)

Kapasiteetin ollessa pullonkaulana trimmikustannukset voidaan laskea menetettynä myyntinä. Myynnin näkökulmasta tarkasteltaessa menetetty kartonkitonni voidaan myydä sellaisenaan tai jatkojalostettuna priimahintaan. Menetetty kartonkihylkytonni voidaan laskea kaavan 12 mukaisesti. (Juntunen 2011.)

*Raakakartongin tehdashinta – kartongin kuitukustannus +  
menetetty integraattihyöty*

(12)

Menetetty integraattihyöty tarkoittaa menetettyä energiaa ja sivutuotemyyntiä eli tässä tapauksessa sellua. Jokainen trimmihäviöstä aiheutunut menetetty päällystetty kartonkitonni olisi voinut tuottaa kaavan 13 mukaisesti. (Juntunen 2011.)

*Päällystetyn tuotteen tehdashinta – reunanauhojen myyntihinta* (13)

Imatran kaukopään PE- koneiden vaatimat reunanauhat leikataan jokaisesta rullasta reunojen tasaisuuden ja laadun varmistamiseksi. Säästetty kartongin rullahylkyhylkytonni päällystettynä tuottaisi vastaavasti priimamyntihinnan ja hylkytuotteen myyntihinnan erotuksen seuraavasti (Stora Enso intranet 2011; Juntunen 2011)

*Päällystetyn tuotteen myyntihinta – hylkyrullan myyntihinta* (14)

### 9.3 Päälylystyksessä aiheutuva kustannus koneen käyttämättömästä kapasiteetista johtuen

KA- ja PE-koneiden trimmityksessä kustannuslaskennan perusteet eroavat toisistaan johtuen koneiden kuormituksesta. PE-koneen trimmihukkaa ei käsitellä menetettynä myyntinä, jos kapasiteetti ei ole täyskäytössä, ja näin ollen trimmi-hylkyä ei oleteta syntyvän. (Reiman 1996, 85.)

Tuotannon näkökulmasta katsottuna tuotannon optimointi voidaan ajatella kapasiteetin korkeana käyttöasteena, jolla alennetaan tuotannon aktiviteettihintaa. Koneiden kiinteät kustannukset pienenevät sitä mukaa, mitä paremmin käytettävissä oleva kapasiteetti saadaan hyödynnettyä. Tutkimusongelman selvittämiseksi tonnikohtainen kiinteä kustannus päälylystettävälle tuotteille täytyisi saada mahdollisimman pieneksi, mikä tarkoittaisi parempaa PE-koneiden ratalevyyden hyödyntämistä ja samalla tuotannon tehokkuuden kasvamista. Koneiden aktiviteettihinta voidaan määritellä seuraavan kaavan 15 mukaisesti. (Juntunen 2011.)

$$\frac{\text{Kiinteä kustannus} + \text{poistot}}{\text{Kapasiteetti aikayksikössä}}$$

(15)

Tuotannon aspektista tarkasteltaessa päälylystettävien tuotteiden tuotantokapasiteetin kasvattaminen tarkoittaisi keskivertoratalevyyden suurentamista nykyisestäään, joka on verrannollinen tuotettaviin tonneihin (Karttunen 2011). Nykyisen toimintamallin mukaan kartongin välituotelevyydet trimmitetään lopputilauks-  
rivin mukaan jo kartonkikoneella. Tämä koetaan joissakin tapauksissa ongelmalliseksi PE-tuotannolle, sillä jos rataleveys jää suurimmalta osin käyttämättä, niin kiinteiden kustannusten osuus kasvaa.

Toinen tapa ajatella kyseistä tilannetta on trimmittää PE-koneet maksimaaliseen leveyteen käyttäen vakioleveyksisiä raaka-ainerullia, jolloin asiakastilausten ulkopuolelle jäävä leveys eli nutikka menisi pulpperoitavaksi vasta päälylystyksen jälkeen. Nykyinen tuotannonsuunnittelu mahdollistaa trimmistä ulkopuolelle jää-

vän rataleveyden palauttamisen raaka-aineeksi kartonkikoneen tuotannon aikana, mitä on jossain määrin kyseenalaistettu. Toisaalta, jos tuotannonsuunnittelu toteutetaan jalostulähtöisesti, niin myös silloin PE- koneiden koko rataleveyttä ei voida hyödyntää molempien raaka-ainerullien osalta, mutta voidaan parantaa.

Tilannetta voidaan tarkastella konkreettisemmin, kun koneen aktiviteettihintaa kuvataan trimmileveyden funktiona prosenttiyksikössä. Kustannukset on allokoitu tuotteen keskimääräisen PE-koneen tuotantonopeuden mukaan, jonka avulla saadaan selville aikahyötysuhteen ja tuottavuuden muutos trimmileveydestä johtuen. Trimmileveyden vaikutus tuottavuuteen (t/h) saadaan laskettua kaavan 16 mukaan.

$$\text{Trimmileveys (m)} * \text{tuotantonopeus} \left( \frac{\text{m}}{\text{min}} * 60 \right) * \left( \text{ka. neliögrammapaino} \frac{\left( \frac{\text{g}}{\text{m}^2} \right)}{1000000} \right) = \text{tuottavuus (t/h)} \quad (16)$$

#### 9.4 Päällystyksessä aiheutuvan trimmihäviön vaikutus

Päällystyskoneilla syntyvä trimmihukka aiheutuu reunanauhoista, jotka leikataan jokaisesta raaka-ainerullasta laadun varmistamiseksi. Muovipäällystettyjen reunanauhojen ja hylkyrullien pulpperoinnin erotellessa osan muovista sekä kuidusta takaisin hyötykäyttöön voidaan muovi hyödyntää energiana ja osa kuidusta palauttaa takaisin kiertoon kartonkikoneelle. Kuidun saanto pulpperoinnin jälkeen, koska kaikkea muovipäällystettyä kuitua ei saada eroteltua. Näin ollen päällistetyn hyllyn valmistamiseen on uhrattu enemmän tuotantoresursseja eikä sitä voida samassa määrin uudelleen hyödyntää tuotantoprosessissa kuin kartonkikoneelta tullutta raakakartonkihylkyä. (Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011; Satomaa 2011.)

#### Päällistetyt nutikat ja sivuradat

Jalotuskoneiden parempien leveyshyötysuhteiden saavuttamiseksi voidaan teoriassa miettiä sivuratojen käyttämistä KA- koneiden tavoin. Tehtaan kokonaishyötysuhdetta ajatellen sivuratoja ei myöskään kannata ajaa pelkän trimmihyödyn saavuttamiseksi, ellei niitä voida myynnissä hyödyntää. Mikäli rullia joudutaan varastoimaan pitkään kannattaisi sivuradat pulpperoida suoraan, koska

muutoin varastointikustannukset nousevat korkeiksi. (Torkkeli 1999, 62; Häyhä 2011.)

Tervo (2004) demonstroi diplomityössään sivuratojen kustannusvaikutusta asiakas- ja tuotekannattavuudessa paperikoneella. Työssä ilmeni, että suurivolyymisen asiakkaan vaikeat tilausleveydet aiheuttivat merkittävän määrän varastoon ajettuja rullia, jotka myöhemmin päätyivät pulpperiin tai jouduttiin myymään alhaiseen hintaan. Mikäli sivuradoilla ei ole markkinoita, niiden uudelleen hyödyntäminen voi olla hankalaa kokonsa puolesta ja näin ollen ne jäävät varastoitavaksi tai pulperoitavaksi. Sivuratojen todellisia kustannusvaikutuksia on hankala määritellä. (Tervo 2004.)

Ongelma korostuisi muovipäälystetyillä sivuradoilla, koska päälystämätön sivurata voidaan vielä mahdollisesti päälystää, arkittaa ja/tai rullata, jolloin sille on helpompi löytää kannattavia markkinoita. Muovipäälystyksessä syntynyt sivurata taas on ajettu samaan muovierittelyyn, kuin mitä samassa ajossa ajettut rinnakkaiset rullat, jolloin mahdollisen asiakkaan löytäminen kilpailukykyiseen hintaan on paljon hankalampaa.

### **9.5 Case: PE- koneiden leveyshyötysuhteiden optimointi**

Seuraavaksi tarkastellaan jalostuslähtöisen toimintamallin vaikutusta muuttamaan vuonna 2010 usein tilattuun lopputuoteleveyteen. Käytetään avuksi vuoden 2010 tilausdataa ja poimitaan muovipäälystettyjä tilauksia, joita on tilattu suhteellisen paljon. Lähtötilanne rakennetaan siten, että syntyisi mahdollisimman vähän materiaalihukkaa, jolla taas säästetään myytäviä tonneja.

## **10 Johtopäätökset**

Jalostuslähtöisen tuotannon trimmihäviön käyttäytymistä on haasteellista määrittellä ja ennustaa tuotteiden sekä tilausten spesifikaatioiden vaihdellessa laajalti. Toimintamallin muutos tuotannonsuunnittelussa nostaisi muuttuvia kustannuksia kartongin jalostusvaiheilla sekä vähentäisi kuidun uudellenkäyttöä prosessissa ajallisesti sekä määrällisesti.

Ensisijaisella PE- koneiden optimoimisella voisi olla taloudellisia hyötyjä, mutta tämä päätelmä ei ole absoluuttinen. Tilausten suuren vaihtelevuuden vuoksi voidaan sanoa, että joissakin tapauksissa PE- koneiden aktiviteettihinta voi nousta merkittävästi kapeiden trimmien seurauksena, jolloin tilausten kannattavuus kärsii. Johtuen useista muuttujista ja epävarmuustekijöistä tuotannonsuunnittelu asettaa useita ristiriitaisia tavoitteita, joiden kaikkien huomioiminen vaatisi lisätutkimusta. PE- koneiden leveyshyötysuhteiden ensisijainen optimointi olisi kannattavaa ainoastaan tilanteessa, jossa kiinteitä kustannuksia säästettäessä voidaan samalla välttyä materiaalihäviöiltä ja myytäviä tonneja ei menettäisi.

Mikäli tuotannonsuunnittelussa panostettaisiin enemmän jalostuslähtöiseen kapasiteetin hyödyntämiseen, niin on haasteellista arvioida olisiko sillä ollut vaikutusta esimerkiksi vuoden 2010 keskiarvoisiin trimmileveyksiin ja häviöihin päällystyskoneilla. Päällystettyjen tuotteiden optimoinnissa törmätään lukuisiin eri tuotannollisiin ratkaisuvaihtoehtoihin, jotka vaikuttavat eri tavoin kustannusten muodostumiseen. Trimmihäviöiden vaikutus tulisi todeta simulointien avulla, jotta voitaisiin saada selville saavutettavat hyödyt ja haitat.

## **11 Pohdinta**

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on ollut tutkia tuotannonsuunnitteluprosessia KA1-PE-koneketjussa sekä tuotannon optimointiin vaikuttavia tekijöitä. Tutkimuksella haettiin vastauksia tuotannossa havaittuihin ristiriitaisuuksiin ja pyrittiin selvittämään, olisiko mielekästä muuttaa nykyistä tuotannonsuunnittelumallia sekä toisiko se mahdollisesti taloudellisia etuja. Nykyisiä toimintatapoja on osittain kyseenalaistettu, mikä on jatkuvan kehityksen edellytys pääomavaltaisessa kartonkiteollisuudessa.

Tutkimusaiheen valinta vei suhteellisen paljon aikaa, ja työn raja-alue oli ongelmallista, mikä johtui tutkimusongelmaan vaikuttavien tekijöiden laajuudesta. Tietoa kertyi pitkin opinnäytetyöprosessia, minkä vuoksi työn aikataulu pitkittyi.

## KUVAT

Kuva 1. Stora Enson henkilöstömäärä maittain 2010 (Stora Enso tilinpäätös 2010), s. 9

Kuva 2. Stora Enson tuotantokapasiteetti maittain 2011 (Stora Enso tilinpäätös 2010), s. 9

Kuva 3. Kartonkikone 1:n sivukuva (Stora Enso intranet 2011.), s. 10

Kuva 4. Kartonginvalmistuksen vaiheet (Stora Enso Intranet 2011.), s. 13

Kuva 5. Päälystyskone 2 (PE2) sivukuva (Stora Enso Intranet 2011.), s. 15

Kuva 6. Päälystyskone 3 (PE3) sivukuva (Stora Enso Intranet 2011.), s. 15

Kuva 7. Päälystyskone 5 (PE5) sivukuva, (Stora Enso Intranet 2011.), s. 16

Kuva 8. Nettokapasiteetin muodostaminen (Haverila ym. 2009.), s. 19

Kuva 9. Taktisen kapasiteettisuunnittelun vaihtoehdot (Lehtonen 2004.), s. 20

Kuva 10. JIT- tuotannon kehittämisen vaiheet (Haverila ym. 2009.), s. 22

Kuva 11. Logistiikka kokonaisuutena. (KnowPap 2011.), s. 23

Kuva 12. Tuotantovaiheiden väliset varastot (Reiman 1996.), s. 25

Kuva 13. Kartonkitehtaan lohkokaavio (Stora Enso intranet 2011.), s. 26

Kuva 14 Hyötysuhteiden seuranta (Torkkeli, M. 1999.), s.30

Kuva 15. Hyötysuhteen merkitys (KnowPap 2011.), s. 31

Kuva 16. Esimerkki lajinvaihtojärjestyksestä (Stora Enso Fenix- toiminnanohjausjärjestelmä 2011.), s. 34

Kuva 17. Kartongin ja jatkojalostuksen prosessikaavio (Paldanius 2004.), s. 35

Kuva 18. Divergoiva tuotantoprosessi (Fogelholm 1997.), s. 39

Kuva 19. Paperikoneen läpimenostandardi (Fogelholm 1997.), s. 39



## KUVIOT

Kuvio 1. Cupforma Classic tuotteiden trimmihäviö 2010, Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011

Kuvio 2. Trimmileveyden vaikutus PE- koneiden aktiviteettihintaan Cupforma Classic 1- ja 2PE tuotteilla, Fenix- toiminnanohjausjärjestelmä 2011

Kuvio 3. Trimmihäviön kustannusvaikutus, Fenix-toiminnanohjausjärjestelmä 2011, Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011

## TAULUKOT

Taulukko 1. PE-koneiden lajinvaihtojen kestot ja materiaalihukka, Karttunen 2011

Taulukko 2. KA1:n tuotantorajoitukset, Häyhä 2011; Stora Enso Intranet 2011

Taulukko 3. PE-koneiden tuotantorajoitukset, Stora Enso Intranet 2011

Taulukko 4. Lajinvaihdon kustannuslaskelma

Taulukko 5. Lajinvaihdon määrä vuodelta 2010, Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011

Taulukko 6. Keskiverto trimmileveys Cupforma Classic - tuotteille PE koneilla 2010, Stora Enso tehdastietojärjestelmä 2011

Taulukko 7. Vaihtoehtoiset trimmileveydet PE-koneilla

Taulukko 8. Esimerkkejä vuoden 2010 tilausmääristä. Stora Enso Fenix toiminnanohjausjärjestelmä 2011

Taulukko 9. Reunanauhoista aiheutuva myynnin menetys kapasiteetin täyskäytötilanteessa. Stora Enso Fenix- toiminnanohjausjärjestelmä 2011

## LÄHTEET

Diesen, M. 2007. Papermaking Science and Technology: Economics of the Pulp and paper Industry. Jyväskylä: Gummerus Oy

Fogelholm, John. 2000. Cost Function Modelling in the Paper Industries. Espoo: Otamedia Oy.

Haverila, M., Uusi-Rauva, E., Kouri, I. & Miettinen, A. 2009. Teollisuustalous. Tampere: Hämeen Kirjapaino Oy.

Hägglom – Ahnger, U. & Komulainen, P. 2001. Teoksessa Seppälä, J. (toimi.) Paperin ja kartongin valmistus. Jyväskylä: Gummerrus.

Häyhä, K. Tuotannonsuunnittelija. Stora Enso Oyj. 22.7.2011. Suullinen tiedonanto.

Juntunen, V-M. Mill controller. Stora Enso Oyj. 10.6.2011. Suullinen ja kirjallinen tiedonanto.

Karjalainen, J. & Fogelholm. J 2001. Tuotantotoiminnan mittaaminen. Vantaa. TummaVuoren Kirjapaino Oy.

Karrus, Kaij E. 2003. Logistiikka. Juva: WS Bookwell Oy.

Karttunen, S. Käyttöinsinööri. Stora Enso Oyj. Suullinen tiedonanto. 11.8.2011

KnowPap. 2011. Paperitekniikan ja tehtaan automaation oppimisympäristö. Prowledge Oy

Kuivalainen, J. Käyttöpäällikkö. Stora Enso Oyj. 3.8.2011. Suullinen tiedonanto.

Lehtonen, J-M, 2004. Tuotantotalous. Vantaa. Dark Oy.

Luukkonen, K. Tuotannonsuunnittelija. Stora Enso Oyj. 10.6.2011. Suullinen tiedonanto.

Mattila, J. 2005. Prosessimittaustietoon perustuva kulutuslaskenta ja tuotevalikoiman optimointi paperitehtaalla. Kuopion Yliopisto. Tietojenkäsittelytieteen koulutusohjelma. Licensiaattityö.

Mattila, J. 2006. Paperitehtaan tuotevalikoiman optimointi. Paperi ja Puu – Paper and Timber Vol. 88/ No .3/2006.

Nikulainen, V. 1998. Kartonkikoneen tuotestrategia, hyötysuhde ja kannattavuus. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Kauppatieteiden osasto. Taloushallinto. Pro Gradu- tutkielma.

Paldanius, J. 2004. Kartonkikoneen tuotannonsuunnittelu jalostuslähtöisesti. Lappeenrannan Teknillinen Yliopisto. Paperitekniikan laboratorio. Diplomityö.

Peltonen, T. 2000. Määrähyötysuhteeseen vaikuttavien tekijöiden kartoitus ja optimointi taidepainopaperilinjassa. Oulun Yliopisto. Prosessitekniikan osasto. Diplomityö.

Reiman, T. 1996. Tuotannonsuunnittelun kehittäminen rinnakkaisia koneita ja peräkkäisiä konevaiheita sisältävässä kartonkitehtaan jatkojalostusketjussa. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Tuotantotalouden osasto. Diplomityö.

Sakki, J.2003. Tilaus – Toimitusketjun Hallinta: Logistinen B – to – B – prosessi. Espoo. Hakapaino Oy.

Salomäki, T. 2001. Toimitusketjun kehittäminen prosessiteollisuudessa. Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu. Tuotantotalouden osasto. Diplomityö.

Satoma, M. Käyttöpäällikkö. Stora Enso Oyj. 13.9.2011. Suullinen tiedonanto.

Soro, A. 2005. Kokonaistuntikatteen maksimointi tuotannonsuunnittelun ja tuotesiirtojen avulla hienopaperiteollisuudessa. Teknillinen korkeakoulu. Teknillisen fysiikan ja Matematiikan osasto. Diplomityö

Stora Enso – esittely: Imatran tehtaat. <http://www.storaenso.com/about-us/mills/finland/imatra-mills/Pages/welcome-to-imatra-mills.aspx>, Luettu 14.5.2011.

Stora Enso Fenix- toiminnanohjausjärjestelmä. 2011.

Stora Enso intranet. 2011.

Stora Enso tehdastietojärjestelmä. 2011.

Stora Enso tilinpäätös.

[http://www.storaenso.com/mediacentre/publications/annualreport/Documents/Stora\\_Enso\\_Facts\\_and\\_Figures\\_FIN\\_2010.pdf](http://www.storaenso.com/mediacentre/publications/annualreport/Documents/Stora_Enso_Facts_and_Figures_FIN_2010.pdf), Luettu 14.5.2011.

Sund, J. Material Flow Manager. Stora Enso Oyj. 5.4.2011. Kirjallinen tiedonanto.

Suomen metalliteollisuuden keskusliitto 1982. Syklinen tuotannonohjaus. Helsinki. Tekninen tiedotus.

Tervo, P. 2004. Integration of Management Information System and Mill System: Case Customer Profitability. Lappeenranta University of Technology. Department of industrial Engineering and Management. Master thesis.

Torkkeli, M. 1999. Paperitehtaan trimmihylytysuhteen optimointi. Lappeenrannan Teknillinen Korkeakoulu. Tuotantotalouden osasto. Diplomityö.